

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství

Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu

Analýza dat z imisního monitoringu Věřnovice

Data analysis of the Věřnovice air pollution monitoring station

Autor: Ondřej Kořenek

Vedoucí práce: RNDr. Jan Bitta, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra ochrany životního prostředí v průmyslu

Zadání bakalářské práce

Student: **Ondřej Kořenek**
Studijní program: B3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: 2805R001 Chemie a technologie ochrany prostředí
Téma: Analýza dat z imisního monitoringu Věřňovice
Data analysis of the Věřňovice air pollution monitoring station
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Statistické vlastnosti dat z imisního monitoringu
- 2) Časová závislost chování imisí
- 3) Závislost imisí na proudění vzduchu
- 4) Odhad hlavních původců znečištění

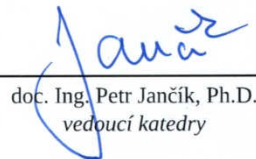
Seznam doporučené odborné literatury:

OBROUČKA, K. Látky znečišťující ovzduší: VŠB-TU Ostrava, 2001. 80-248-0011-X.
BLAŽEK, Z. Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy.
Praha: ČHMÚ, 2013. 978-80-87577-15-8.
Air Toxics analysis workbook. Research Triangle Park, NC: US EPA, 2009. Dostupná na
<http://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/workbook/T-Workbook_Secs1-8.pdf>


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **RNDr. Jan Bitta, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2015
Datum odevzdání: 29.04.2016


doc. Ing. Petr Jančík, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou práci (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnické nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
 - Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
 - Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.
- BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). V případě, kdy zadání BP vychází ze spolupráce se subjekty mimo VŠB -TU Ostrava a řešení studenta, týkající se citlivých dat spolupracujícího subjektu, je zpracováno v samostatné zprávě, tak zveřejněná část BP bude zpracována v rozsahu min. 15 stran a celkový rozsah BP bude min. 25 stran.

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku.

Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslvány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

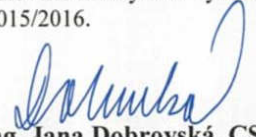
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2015/2016.

Ostrava 2. 11. 2015


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- беру на vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě

.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

Poděkování:

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, panu RNDr. Janu Bittovi, Ph.D., za čas, který mi věnoval při konzultacích bakalářské práce, za jeho velmi cenné rady a připomínky.

Anotace

Úkolem této bakalářské práce je s využitím základních statistických metod určit, závislost koncentrací znečišťujících látek (PM_{10} , NO_2 , SO_2) na časovém období a z hlediska směru větru. Vlastnosti jednotlivých znečišťujících látek jsou popsány v teoretické části. V praktické části jsou popsány jednotlivé analýzy znečišťujících látek. Výsledky analýz jsou shrnuty v závěru.

Klíčová slova: Znečišťující látky, časové chování koncentrací

Annotation

The task of this work is using the basic of statistical methods determine the dependence of the concentration pollutants (PM_{10} , NO_2 , SO_2) for the time period and in terms wind direction. Properties of the individual pollutants are described in the theoretical section. In the practical part describes individual analyzes contaminants. The results of analysis are summarized in the conclusion.

Key words: pollutants, temporal behavior of concentrations

Obsah	
1 Úvod	1
2 Atmosféra	2
3 Znečišťování ovzduší	3
3.1 Členění látek	3
3.2 Zdroje znečišťujících látek	6
3.3 Tuhé a kapalné znečišťující látky	6
3.3.1 PM ₁₀	7
3.4 Plynné znečišťující látky	9
3.4.1 Oxid siřičitý	10
3.4.2 Oxidy dusíku	11
3.5 Rozptyl znečišťujících látek v ovzduší	12
3.5.1 Vítr	12
3.5.2 Teplota	13
4 Legislativa ochrany ovzduší	16
5 Příhraniční oblast Česko- Polská	16
5.1 Imisní monitorovací stanice Věřňovice	20
6 Návrh postupu	21
6.1 Statistické vlastnosti koncentrací znečišťujících látek	20
6.2 Postup analýz	22
7 Analýza koncentrací PM ₁₀	24
7.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací PM ₁₀	24
7.2 Analýza týdenního chodu koncentrací PM ₁₀	26
7.3 Analýza závislosti koncentrací PM ₁₀ na směru větru	27
7.4 Diskuse analýz PM ₁₀	30
8 Analýza koncentrací NO ₂	32
8.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací NO ₂	32

8.2 Analýza týdenního chodu koncentrací NO ₂	34
8.3 Analýza závislosti koncentrací NO ₂ na směru větru	35
8.4 Diskuse analýz NO ₂	38
9 Analýza koncentrací SO ₂	40
9.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací SO ₂	40
9.2 Analýza týdenního chodu koncentrací SO ₂	42
9.3 Analýza závislosti koncentrací SO ₂ na směru větru.....	43
9.4 Diskuse analýz SO ₂	46
10 Závěr.....	47
11 Seznam použitých zdrojů	48
12 Seznam obrázků.....	51
13 Seznam grafů	52
14 Seznam tabulek.....	53
15 Seznam použitých zkratk	53

1 Úvod

V dnešní době je jedním z největších a nejvíce řešených problémů ve světě, znečišťování ovzduší. Znečišťující látky se mohou dostávat do atmosféry ze dvou typů zdrojů: antropogenního a přirozeného. Přirozenými zdroji jsou požáry lesů, vulkanická činnost a jiné. Mezi antropogenní řadíme ty, které vznikly lidskou činností, jedná se o výrobu tepla a elektřiny, průmyslové procesy, dopravu, zemědělství, atd.

Nejvíce postiženou oblastí u nás je Moravskoslezský kraj. Je to způsobeno rozsáhlou průmyslovou činností a poměrně hustou osídlenou plochou.[3]

V již zmiňovaném Moravskoslezském kraji jsou překračovány imisní limity. Především v oblasti příhraniční jsou nejvíce problematické a hlídané hodnoty suspendovaných částic (PM_{10}). Tyto suspendované částice jsou významnou znečišťující látkou, poškozující lidské tělo. Způsobují především problémy spjaté s dýchacími cestami.

Hlavním cílem mé bakalářské práce je za pomoci statistických metod popsat koncentrace znečišťujících látek (PM_{10} , SO_2 a NO_2), analyzovat jejich časově charakteristické chování, dlouhodobé trendy koncentrací znečišťujících látek a závislost koncentrací na směru větru.

K analýze se budou využívat data z imisní monitorovací stanice Věřňovice z let 1998-2014. Jedná se o stanici, která se nachází v příhraniční oblasti České republiky a Polska. Hlavním důvodem, proč byla vybrána tato stanice, je ten, že tato stanice dlouhodobě patří mezi stanice s nejvyššími ročními průměrnými koncentracemi PM_{10} . V roce 2014 zde byly nejvyšší roční průměrné koncentrace PM_{10} ze všech imisních monitorovacích stanic v ČR. [23] Stanice se nachází uprostřed hornoslezské průmyslové aglomerace v těsné blízkosti česko-polské hranice, lze na ní tedy studovat i relativní vliv zdrojů znečištění z Česka a z Polska.

2 Atmosféra

Je to ochranná vrstva, která umožňuje existenci života. Chrání organismy před škodlivými účinky slunečního záření a to tak, že pohlcuje elektromagnetické záření krátkých vlnových délek a korpuskulární záření. Zároveň částečně odráží zpět i infračervené záření vyzářené zemským povrchem, čímž stabilizuje teplotu na zemském povrchu a zabraňuje velkým teplotním rozdílům.

Složení atmosféry se v průběhu let mění a to v závislosti na lidské činnosti, dochází k zvyšování množství CO_2 , H_2O , NO_x , atd. V procentuálním vyjádření je zastoupen ze 78 % dusík, 21% kyslík a zbytek je tvořen vzácnými plyny, vodní parou, oxidem uhličitým a jinými látkami.[11] V závislosti na změně teploty, dochází k tzv. vertikálnímu dělení na:

- Troposféru- rozlišujeme dvě části, planetární v blízkosti zemského povrchu a volnou. Pro volnou je typický záporný teplotní gradient. V této vrstvě se nachází většina vodní páry, což má za následek, že zde dochází ke vzniku oblaků. Zasahuje do výšky až 17 km. Teplota s rostoucí výškou klesá, v průměru o $0,65^\circ\text{C}$ na 100 m výšky.[1]
- Tropopauzu- vrstva nad troposférou. Je charakteristická velmi nízkými teplotami. Zabraňuje pronikání vodní páry do vyšších vrstev atmosféry.
- Stratosféru- ve spodní oblasti dochází k zastavení poklesu teploty s měnící se výškou. V horní vrstvě stratosféry teplota roste se zvyšující se výškou. Ve střední části stratosféry je teplota konstantní. Na horní hranici mezosféry je teplota až -2°C . Ve stratosféře vznikají vlivem kosmického záření molekuly O_3 , které následně pohlcují UV záření.
- Mezosféru- je charakteristická rychlým poklesem teploty s rostoucí výškou. Pokles je způsobený odlišným chemickým složením, které již nezachycuje UV záření a nedochází tak k jejímu ohřevu.
- Termosféru- z počátku probíhá razantní růst teploty vlivem zachycování rentgenového, gama a korpuskulárního záření. Ve výšce 700 km je dosaženo teploty až 1200°C . Vlivem vysoké teploty a zachytu iontů ze slunečního větru je termosféra ionizovaná, proto odráží rádiové vlny a vzniká v ní polární záře.
- Exosféru- volně přechází do vesmírného prostoru.

3 Znečišťování ovzduší

Jedná se o procesy, při kterých se uvolňují různé typy látek nebo energií do ovzduší. Typickými příklady těchto látek jsou emise chemických látek, tepelné energie, ale i prach, hluk, elektromagnetické záření a jiné. Dle definice, je znečišťování, vypouštění hmotných látek v tuhém, kapalném nebo plynném skupenství ze zdrojů do ovzduší, které buď přímo, nebo po chemických změnách v atmosféře negativně ovlivňují kvalitu a složení venkovního ovzduší, ale i zdraví člověka.[2]

Takto uvolněné sloučeniny se v atmosféře nenacházejí dlouhou dobu. Po určité době dopadají na zemský povrch ve formě tzv. depozic. Depozice jsou dvojího typu, mokrá a suchá. Pro mokrou platí, že se z atmosféry vytrácí vymýváním vodními srážkami, zatímco suchá se usazuje na zemském povrchu ve formě prachu. V některých případech probíhají v nižších vrstvách atmosféry chemické reakce mezi jednotlivými typy látek.

Znečišťování máme dvojího typu:

- primární
- sekundární

Primární znečišťování je uvolňování látek do ovzduší. Takto uvolněné látky v atmosféře mohou následně reagovat, čímž dochází k sekundárnímu znečištění, tzv. chemismu atmosféry. Jedná se o neutralizaci, změnu skupenství, konverzi jemných částic, atd.[5]

Reakcí znečišťujících látek v přízemní vrstvě atmosféry vzniká smog. Rozlišujeme dva typy smogu - redukční a fotochemický. Redukční neboli zimní (londýnský) je charakteristický pro zimní období. Skládá se z městského a průmyslového znečištění. Dominující složkou redukčního smogu je oxid siřičitý a jiné látky, které snadno oxidují.[14] Druhým typem je redukční neboli fotochemický (losangelský) smog. Je charakteristický dráždivostí a silnými oxidačními účinky. Vytváří se v městských oblastech. Příčinou vzniku redukčního smogu je reakce slunečního záření oxidů dusíku (NO_x) a těkavých organických látek (VOC). Sekundárními znečišťujícími látkami jsou hlavně přízemní ozón a částečně oxidované uhlovodíky.

Následkem znečišťování (emise) a procesů v atmosféře je znečištění (imise). Zvýšené imise znečišťujících látek mají negativní vliv na lidské zdraví, živé organismy a/nebo hmotné statky.

3.1 Členění látek

Chování látek v atmosféře závisí na několika důležitých parametrech. Jedná se o skupenství látek, chemické složení a jejich toxicitu vůči organismům. V závislosti na skupenství rozlišujeme kapaliny, plyny a pevné látky, které se spolu mohou propojovat a vytvářet tak složitější systémy. Podle chemického složení dělíme látky na několik typů, v závislosti na obsažených chemických látkách (viz. Tabulka 1).

Tabulka 1 – Členění znečišťujících látek podle chemického složení[5]

Sloučeniny		Znečišťující látky
Sloučeniny síry	Anorganické	SO ₂ , SO ₃ , H ₂ S, CS ₂
	Organické	Merkaptany, dimethylsulfid
Sloučeniny dusíku	Anorganické	NO, NO ₂ , HNO ₃ , NH ₃ , HCN, XCN
	Organické	Aminy, dusitany, peroxodusičnany, PAN
Sloučeniny kyslíku		Ozon a další oxidanty
Sloučeniny uhlíku	Anorganické	CO ₂ , CO
	Organické	Methan, uhlovodíky aromatické, alifatické, alkoholy, fenoly, organické kyseliny a další organické sloučeniny
Sloučeniny halogenové	Anorganické	F, HF, Cl, HCl, Br
	Organické	Chlorované uhlovodíky (DDT, PCB, PCDD, PCDF)
Ostatní znečišťující látky		Sloučeniny a páry kovů

3.2 Zdroje znečišťujících látek

Základním způsobem, jak lze rozdělit zdroje znečištění je z hlediska geometrického charakteru a přirozeného výskytu. Z hlediska geometrického rozlišujeme tři typy zdrojů - bodové, plošné a liniové. Bodové jsou ve většině případů samostatně vybudované komíny, jenž slouží k odvádění toku emisí. Liniové zdroje jsou automobilová doprava. Posledním typem, jak již bylo výše uvedeno, jsou plošné, což jsou například lomy a skládky nebo oblasti s vyšší koncentrací bodových zdrojů na malém prostoru.[8]

Z hlediska přirozenosti původu rozlišujeme zdroje přirozené a antropogenní. Přirozené procesy vznikají bez zásahu člověka a ovlivňují tak složení atmosféry. Jedná se o lesní požáry, vulkanickou činnost, kosmický prach, ale i odnášení pylu či erozní procesy půd a jiné. Při požárech lesů dochází k uvolnění značného množství oxidu uhličitého, popelovin a dioxinů do ovzduší, především do oblasti stratosféry. Vulkanická činnost vede, ke vzniku velkého množství prachu, popelu a různých druhů plynů.

Látky antropogenního původu mají často podobný charakter jako přirozené, avšak jsou mezi nimi i další škodlivé látky, které se v přírodě nevyskytují. [5] Ke zvyšování znečištění lidskou činností dochází z mnoha důvodů. Jedním z nejpodstatnějších je zvyšující se globální spotřeba energií, které jsou získávány hlavně z fosilních paliv.

V současné době se vychází z předpokladů, že vlivem lidské činnosti se do atmosféry uvolní 10% emisí z celkového množství. Antropogenní emise jsou ovšem produkovány nejvíce přímo v oblastech zalidněných oblastech a jejich relativní vliv na kvalitu ovzduší v lidských sídlech je proto mnohem vyšší.

Většina emisí znečišťujících látek pochází z termických a chemických procesů. Např.: energetika, doprava, hutnictví železa, spalování odpadů a výroba některých produktů, jako jsou barviva, hnojiva, lepidla, atd.

3.3 Tuhé a kapalně znečišťující látky

Znečišťování atmosféry je způsobeno látkami v pevném, kapalném a plynném skupenství. Tyto látky jsou malých velikostí, ale i velikostí, které jsou dobře viditelná lidským okem. Chemické složení těchto látek je pestré, obsahují jak organické tak i anorganické částice. V závislosti na obsaženém množství jednotlivých látek lze určit, zda se jedná o částice živé nebo neživé.

Příčinou vzniku kapalných látek v atmosféře, je kondenzace z vodních par. Takto vzniklé částice jsou společně schopné v ovzduší vytvořit tzv. disperzní soustavy. Disperzní soustava se skládá ze dvou složek: disperzního prostředí a dispergované látky. Disperzním prostředím je tuhá částice a dispergovanou látkou je kapalina. V závislosti na stabilitě disperzní soustavy rozlišujeme dva typy částic a to aerosol a prach.

Prachové částice se skládají z tuhých látek. V závislosti na velikosti prachových částic rozlišujeme tři typy: hrubý prach, střední a jemný prach. Velikost částic hrubého prachu je vyšší než $40\mu\text{m}$. Střední prachové částice dosahují velikosti $1\mu\text{m}$ - $40\mu\text{m}$ a jemné prachové částice jsou menší než $1\mu\text{m}$. Po jejich rozšíření do ovzduší, dopadají na zemský povrch

Aerosoly jsou složeny z kapalně a pevné složky a jsou schopny v atmosféře vytvořit stabilní vícefázové systémy. Rozlišujeme 2 typy aerosolů:

- Disperzní aerosoly: Příčinou vzniku je narušení neboli rozprášení kapalin a pevných částic (kouře).
- Kondenzační aerosoly: Vznikají buď kondenzací nasycených par, nebo reakcemi v ovzduší (mlhy, opary, atd.)[5]

3.3.1 PM₁₀

Zdroj může být jak přirozeného, tak i antropogenního původu. Přirozenými zdroji jsou prachové částice, které jsou unášeny větrem, erupce sopek a v neposlední řadě také lesní požáry. Podle jejich velikosti rozlišujeme tři typy suspendovaných částic:

- PM₁₀ částic s průměrem menším než $10\mu\text{m}$
- PM_{2,5} částice s průměrem menším než $2,5\mu\text{m}$
- PM₁ částice s průměrem menším než $1\mu\text{m}$

Kromě výše zmíněných anorganických prachových částic, jsou významné i organické částice, tzv. bioaerosoly. Radíme mezi ně houby, viry a bakterie, ale i jiné rostlinné části, jako jsou pyl, spory, atd.

Antropogenním zdrojem PM₁₀ jsou především spalovací procesy. Jedná se o elektrárny, teplárny, spalovací motory. K jejich vzniku dochází ale i při svařování kovů a jejich tavení nebo při odstranění vegetace z povrchu, což má za následek, že vítr odnáší jemných částice ze

zemského povrchu. Poslední oblastí, ve které může dojít k jejich vzniku, je při zemědělských procesech, těžbě surovin atd.

Po uvolnění do atmosféry dochází k jejímu dopadu buďto ve formě mokré nebo suché expozice. Přičemž platí pravidlo, že čím je částice menší velikosti, tím déle zůstává přítomna v atmosféře.[11] PM_{10} dopadají na zemský povrch po několika hodinách, zatímco nejmenší prachové částice jsou schopny zůstat v atmosféře po dobu až několika týdnů, než dojde k mokré depozici. Pro jednotlivé částice je charakteristické rozdílné chemické složení, které je ovlivňováno jejich velikostí a původem. Platí, že jemnější částice jsou tvořeny především organickým, elementárním uhlíkem, sírany a amonnými solemi. Zatímco hrubší částice jsou odnášené ze zemského povrchu, tj. prach, zvětřelé minerály, horniny a bioaerosol. Z hlediska působení na životní prostředí, je největším problémem usazování prachu na listy vegetace, čímž se snižuje jejich aktivní plocha.

3.3.1.1 Dopady na zdraví člověka

Prachové částice působí u člověka negativně na dýchací cesty. Dochází, k jejich pronikání do plic. Zdravotní problémy se mohou projevit akutní, chronické či subchronické. Účinky částic na lidské zdraví jsou závislé na chemickém složení, biologické aktivitě a na rozpustnosti částic v tělních tekutinách. Charakteristickými účinky bývá podráždění sliznice dýchacích cest, tvorba hlenu. Hlen způsobuje zhoršení obranyschopnosti a samočisticí funkce dýchacího ústrojí.

Jedná-li se o krátkodobou expozici, tak dochází k:

- zvýšení počtu zánětlivých onemocnění
- nepříznivé účinky na kardiovaskulární systém
- zvýšení spotřeby léčiv
- zvýšení počtu hospitalizací
- zvýšení úmrtnosti

Po tomto zahlenění, může docházet k rozvinutí chronických onemocnění, jaký mi jsou bronchitida a jiné obstrukční nemoci.[28] Ovšem průběh a vznik jednotlivých onemocnění je různý v závislosti na stavu imunity člověka.

Dlouhodobá expozice:

- snížení plicních funkcí u dětí i dospělých
- růst onemocnění dolních cest dýchacích
- zvýšení chronických obstrukčních onemocnění plic
- snížení předpokládané délky dožití (převážně v důsledku úmrtnosti na srdečně - cévní a plicní onemocnění)[15]

Tabulka 2 - Imisní limity PM₁₀ a PM_{2,5}[15]

Znečišťující látka		Doba průměrování	Imisní limit	Horní mez pro posuzování	Dolní mez pro posuzování	Přípustná četnost překročení za kalendářní rok
Imisní limit pro ochranu zdraví lidí	PM ₁₀	24 hodin	50 µg/m ³	30	20	35
	PM ₁₀	1 kalendářní rok	40 µg/m ³	14	10	
	PM _{2,5}	1 kalendářní rok	25 µg/m ³	17	12	

V tabulce 2 jsou uvedeny imisní limity pro suspendované částice PM₁₀ a PM_{2,5} pro 24 hodin a pro 1 rok.

3.4 Plynné znečišťující látky

Mezi přírodní procesy, které jsou zdrojem plynných emisí, patří především vulkanická činnost, požáry lesů a fotochemické reakce. Velký podíl znečišťujících plynů se do atmosféry uvolňuje antropogenní činností a to spalováním různých typů paliv, které se využívají v domácnostech, dopravě, energetice, ale i při průmyslových procesech, jako jsou hutní průmysl, koksárenství, chemický průmysl, apod.

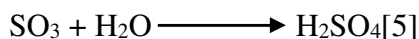
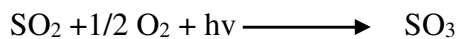
3.4.1 Oxid siřičitý

Plyn, jenž je jedním z nejvýznamnějších znečišťovatelů atmosféry, jak z hlediska jeho množství, tak z hlediska účinku na okolní prostředí. K jeho vzniku dochází především antropogenní činností.

Jedná se o:

- Chemický průmysl - Vzniká při výrobě jednotlivých chemických sloučenin, jako jsou kyselina sírová atd.
- Energetiku - Při spalování fosilních paliv, především hnědého uhlí. Tento zdroj je v ČR a v celém světě dominantní.
- Koksárenství - K jeho uvolnění dochází při spalování koksárenského plynu.
- Metalurgický průmysl - Primárně vznikají při zpracování rud, které jsou bohaté na síru. Například: pyrity.

Po určitém časovém období dochází v atmosféře k oxidaci oxidu siřičitého. Mluvíme o tzv. fotochemické neboli katalytické reakci. Výsledkem reakce je vznik oxidu sírového, jenž ochotně reaguje s vodou za vzniku kyseliny sírové, viz reakce:



Průběh oxidace je závislý na podmínkách v atmosféře, kterými jsou sluneční svit, katalyzující látky a teplota. Charakteristická je oxidace oxidu siřičitého na oxid sírový o 0,1 – 2% za hodinu.

Takto vzniklý oxid sírový reaguje s vodou za vzniku kyseliny sírové. Následně může docházet k reakci kyseliny s prachovými, alkalickými částicemi za vzniku sloučenin síranů. Sírany dopadají na zemskou kůru anebo se z atmosféry vytrácejí, působením srážek. Není-li v atmosféře obsaženo dostatečné množství alkalických částic, tak dochází ke snížení pH vodních srážek < 4. Mluvíme o tzv. kyselých deštích.

Kyselé deště se projevují, uvolňováním kovových iontů (Cu, Pb, Cd), které způsobují znehodnocování půdy, vody a úhyn některých typů půdních mikroorganismů. Kromě toho negativním způsobem ovlivňují zdraví zvířat a člověka. U člověka dochází k poškození dýchacího systému, což se projevuje bronchitidou, astmatem.[25]

V závislosti na koncentraci SO₂, dochází u člověka:

- 100 µg/m³ - dráždění očí, horních cest dýchacích
- 500 µg/m³ - na činnost mozkové kůry
- 2 500 µg/m³ - na snížení průchodnosti v plicích. [5]

Množství vypouštěného SO₂ je omezeno emisními limity. Hodnoty jsou stanoveny různě, v závislosti na výkonu zařízení na 500 až 1700 mg/m³. Nejvyšší přípustné přízemní koncentrace (imisní limity) jsou pro SO₂ hodinový 350 µg/m³, denní 125 µg/m³ a roční 50 µg/m³ [10].

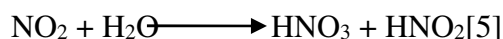
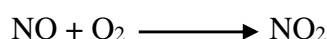
3.4.2 Oxidy dusíku

V atmosféře se dusík vyskytuje v různých typech sloučenin. Nejvíce zastoupen je oxid dusný (N₂O), oxid dusičitý (NO₂), který se také může nacházet ve formě dimeru (N₂O₄) a oxid dusnatý (NO).

Oxid dusný neboli rajský plyn není vedený jako škodlivina. K jeho vzniku dochází přirozeným způsobem, při bakteriálním rozložení látek bohatých na dusík. V atmosféře dochází v poměrně vysokých výškách k fotochemické reakci. Výsledkem reakce je vznik kyslíku a dusíku.

Menší množství NO_x je přirozeného původu, který vzniká při bakteriálních procesech. Hlavní příčinou výskytu NO_x je antropogenní činnost. Jedná se o spalování fosilních paliv. [16] Spalování probíhá ve spalovnách při vysokých teplotách. Dalšími zdroji NO_x jsou doprava, nitrace organických látek, výroba HNO₃. Výsledné množství uvolněného NO_x je závislé na spalovací teplotě. Při čemž platí, že čím je vyšší teplota a delší doba zadržení spalin v oblasti spalné teploty a zároveň čím je vyšší poměr vzduchu, tím je následně, větší množství vzniklých sloučenin NO_x.

Po úniku NO_x do atmosféry, dochází k následujícím reakcím. Oxid dusnatý v atmosféře oxiduje. Výsledkem reakce je oxid dusičitý. Následně probíhá reakce s vodní vlhkostí, jejímž výsledkem je kyselina dusičná:



Vzniklá kyselina dusičná může reagovat s prachovými částicemi oxidu vápenatého (CaO) a oxidu hořečnatého (MgO), což se projevuje sedimentací částic. Při dopadu na zemský povrch, dochází k usazování do půdy, což se projevuje zvýšenou koncentrací dusíku v půdě. Ionty NO_3^- sice mají příznivé účinky na růst zeleně, ale při mnohokrát zvýšeném množství, dochází k nežádoucímu růstu některých typů vodních rostlin.

Sloučeniny dusíku mají neblahý vliv na lidský organismus, především na vnitřní orgány. Kromě toho způsobuje problémy spjaté s dýchacími cestami. Může docházet k tomu, že se NO_x navážou na červené krevní barvivo. Tím dochází k zhoršení přenosu kyslíku z plic do dalších částí těla.[15] Z toho důvodu jsou stanoveny imisní limity, jejichž hodnoty jsou stanoveny na $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok, $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za hodinu.[23]

3.5 Rozptýl' znečišťujících látek v ovzduší

Koncentrace emisí v ovzduší je do značné míry závislá na klimatických podmínkách. Velikost koncentrací závisí na dvou základních parametrech:

- geometrické charakteristice zdroje
- fyzikálních vlastnostech emisí

Fyzikální vlastnosti určují hodnoty koncentrací z hlediska jejich rozložení. K určení se využívá fyzikálních veličin, jako je množství tepla a hustota, velikost či skupenství částic. Důležitou charakteristikou je proudění emisí a to z hlediska jejich rychlosti proudění a směru výtoku.

Geometrická charakteristika, jak už sám název napovídá, popisuje tvar. Některé prostorové tvary jsou ovšem mnohdy složité pro modelování, z tohoto důvodu jsou nahrazovány jednoduššími útvary. Jedná se o útvary, které jsou bodové, plošné, liniové a objemové. Kromě toho se berou v potaz výduchy v komíně, okna v budovách, ventilace nebo dveře.

3.5.1 Vítr

Vzniká, jako důsledek působení slunečního záření. Při pronikání atmosférou dochází ke vzniku teplotního gradientu, jehož hodnota je závislá na nerovnoměrném ohřívání a ochlazování zemského povrchu. Různé ohřívání a ochlazování povrchu má za následek

vytváření nejen teplotního, ale navíc i tlakového gradientu, které stimuluje proudění vzduchu neboli vítr. Důležitým parametrem, jenž ovlivňuje chování větru je Coriolisova síla.

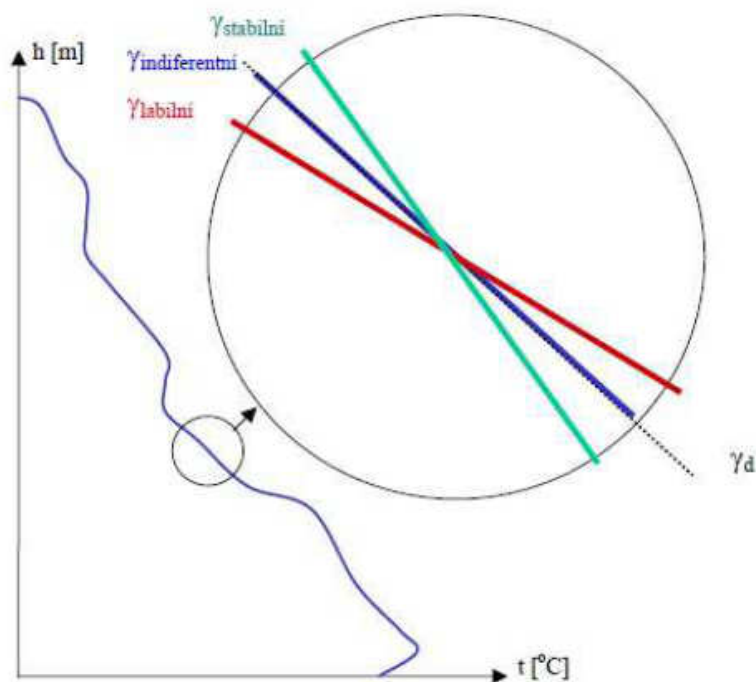
Základní charakteristiky, které popisují chování větru, jsou jeho rychlost a směr. Velikost rychlosti větru je ovlivňována velikostí a směrem údolí, uspořádáním reliéfu terénu. V zastavěné oblasti je pohyb větru omezen a určen výškou jednotlivých staveb, polohou ulic atd.

Je-li zdroj znečišťování v oblasti proudění vzduchu, dochází k tomu, že koncentrace znečišťujících látek se snižují a dochází k jejich přenosu do větších či menších vzdáleností, v závislosti na rychlosti větru. Z toho vyplývá, že čím je vyšší rychlost, tím je menší znečištění, ale také se zároveň tyto látky dostávají do větších vzdáleností.

3.5.2 Teplota

Pro teplotu platí, že není stejná ve všech vrstvách atmosféry. Mění se v závislosti na prostorových proměnných a na čase. Hlavním zdrojem tepla v ovzduší je sluneční záření. Po proniknutí slunečního záření do atmosféry, dochází k jeho šíření v atmosféře. Šíří se třemi způsoby – konvekcí, molekulární vodivostí a vlivem turbulencí.

Pro rozptyl znečišťujících látek je důležité teplotní zvrstvení atmosféry. Rozlišujeme tři typy teplotního zvrstvení a to indiferentní, instabilní a stabilní zvrstvení (obrázek 1). Hlavním a nejdůležitějším parametrem, který má vliv na vznik některého z typů teplotního zvrstvení, je teplotní gradient.



Obrázek 1- Teplotní gradient [27]

3.5.2.1 Teplotní inverze

Teplotní inverze jsou situace, kdy v určitém místě dochází místo poklesu, k růstu teploty s výškou, což omezuje vertikální proudění atmosféry. Důsledkem je špatný rozptyl znečišťujících látek.

Rozlišujeme dva typy inverzí: přízemní a výškovou. Pro přízemní inverzi je charakteristické, že růst teploty začíná již u zemského povrchu, zatímco výšková inverze se projevuje až výše v atmosféře. [6]

V závislosti na příčinách vzniku inverze v troposféře, rozlišujeme:

- Radiační inverze
- Advekční inverze
- Frontální inverze
- Subsidenční inverze
- Turbulentní inverze[4]

Zemský povrch, jako každý povrch fyzikálního tělesa, jehož teplota je různá než 0 K, vyzařuje elektromagnetickou radiaci, na což spotřebovává tepelnou energii a tím se ochlazuje. [4] Proto v nočních hodinách dochází, ke snížení teploty zemského povrchu. Ochlazená zemská kůra způsobuje ochlazení vzduchu, který se vyskytuje v bezprostřední blízkosti. Charakteristickými oblastmi, v nichž se vyskytuje tento typ inverzí, jsou uzavřené kotliny či údolí. V zimních měsících jsou radiační inverze častější z toho důvodu, že sněhová pokrývka odráží většinu dopadajícího záření. Mimo zimní měsíce je zapříčiněn výskyt radiační inverze jasnou oblohou s bezvětřím při zemském povrchu. Kromě již zmiňované přízemní existuje ovšem také výšková. Ta se projevuje tím, že v určité oblasti ovzduší se vyskytuje velké množství vodní páry. Z toho důvodu probíhá vyzařování tepla, což vede ke snížení teploty v její blízkosti a tím umožňuje vznik inverze.[4]

Advekční inverze je zapříčiněna ochlazováním teplého vzduchu, jenž proudí nad chladnoucí zemský povrch. Typickým příkladem je v období zimních měsíců proudící teplý vzduch od oceánu nad prochladnutým kontinentem. Výšková advekční inverze vychází ze stejného principu jako přízemní inverze.[4]

Frontální inverze je prostorem mezi dvěma hmotami, které dosahují různé teploty a nacházejí se jedna nad druhou.

Subsidenční inverze je způsobena usazováním studeného vzduchu v místech vysokého tlaku. [4]

4 Legislativa ochrany ovzduší

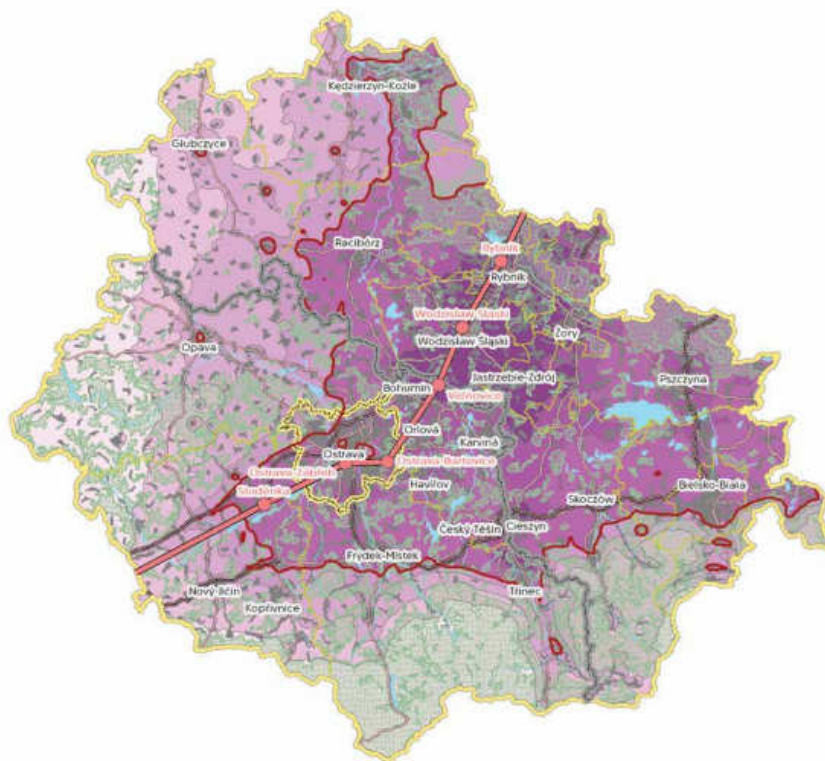
Základním právním předpisem v oblasti ochrany ovzduší je zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší a zákon č. 73/2012 Sb., o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu, a o fluorovaných skleníkových plynech.

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, určuje především práva a povinnosti provozovatelů zdrojů znečišťování ovzduší, nástroje ke snižování množství látek, které znečišťují ovzduší, působnost správních orgánů a opatření k nápravě a sankce. Zákon č. 201/2012 Sb. byl novelizován zákonem č. 64/2014 Sb. (s účinností od 1. 5. 2014) a zákonem č. 87/2014 Sb. (s účinností od 1. 6. 2014).[29]

5 Příhraniční oblast Česko- Polská

Oblast u hranic Česka a Polska v Moravskoslezském kraji se nachází v Hornoslezské průmyslové oblasti, která je hustě osídlená z důvodu těžby černého uhlí. Skládá se ze 4 velkých aglomerací Ostravsko – Karvinské, Katovické, která je největší v Polsku, Rybnicko-Ratibořské a Bělsko-Jastřebské. V této oblasti žije přibližně 4 miliony lidí. Nachází se v mírném pásu, se čtyřmi ročními obdobími. Geograficky je součástí Slezské nížiny, podél řeky Odry a je ohraničena Západními Karpatami, Českou a Polskou vysočinou.[3]

K prvním projevům znečištění prostředí docházelo už v polovině 19. Století z důvodu rozvoje průmyslu. V následujících letech se situace zhoršovala až do také míry, že v 70. letech 20. století se stala střední Evropa nejvíce znečištěnou oblastí v celé Evropě. Poté došlo k poměrně velkým změnám na konci 80. let a začátkem 90. let, kdy proběhla velká restrukturalizace průmyslu. Restrukturalizace se projevila zaváděním nových technologií a zařízení pro snižování emisí. Podniky, které znečišťovaly ve velké míře okolí a nemohly si dovolit změnu technologií, byly uzavřeny. Tyto kroky měly za následek postupně se zlepšující životní prostředí. Zároveň byla vybudována síť měřících stanic pro sledování stavu kvality ovzduší. Velmi významný vliv na kvalitu ovzduší v příhraniční oblasti měl vstup České republiky a Polska do Evropské unie. Došlo k přijetí norem EU, které přísněji regulovaly emise.

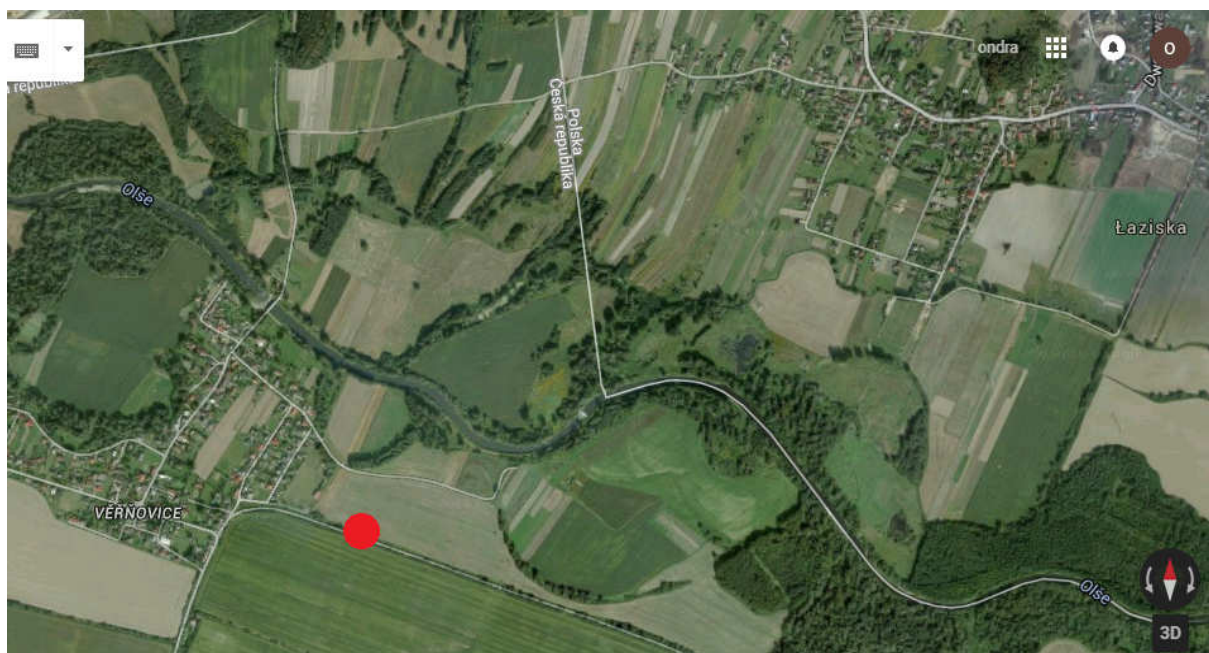


Obrázek 3 – Znečištění PM₁₀ v roce 2010 [26]

Problémem regionu jsou zejména suspendované částice obsahující zdraví škodlivé látky[3]. Množství znečišťujících látek v dané oblasti je závislé nejen na zdrojích, jakými jsou průmysl, lokální topeniště a do značné míry i automobilová doprava, ale i na meteorologických podmínkách, které mají značný vliv na jejich rozptyl.

5.1 Imisní monitorovací stanice Věřňovice

Imisní monitorovací stanice Věřňovice, jejímž zřizovatelem je Český hydrometeorologický ústav, leží na území obce Dolní Lutyně, v blízkosti její části Věřňovice. Přesná poloha je určena zeměpisnými směrnicemi: 49°55'28.844" sš. 18°25'22.341" vd. Jedná se o zemědělskou a průmyslovou zónu, která je rovinatá a okolní terén je jen velmi málo zvlněný. Na této stanici dochází k měření PM₁₀, oxidu siřičitého a oxidu dusičitého. Kromě měření znečišťujících látek, probíhá také zaznamenávání rychlosti a směru větru. Ve výšce 2 m se průběžně měří teplota a vlhkost vzduchu.



Obrázek 4 - Poloha monitorovací stanice Věřňovice, mapový podklad: Google Maps



Obrázek 5 - Imisní stanice Věřňovice

Měření znečišťujících látek je automatické a využívá RADIO [radiometrie - absorpce beta záření] pro PM₁₀, UVFL [UV- fluorescence] pro SO₂ a CHLM [chemiluminiscence] u NO₂. Tato stanice je vybrána, protože zde dochází k překračování ročních limitů PM₁₀ v takové míře, že se jedná o nejhorší stanici v celé České republice, viz tabulka 3 a zároveň se stanice nachází přímo na státní hranici s Polskem a lze ji tedy využít pro analýzu přenosu znečištění z Polska

Pořadí	Lokalita	Okres	Vlastník	Metoda měření	Roční koncentrace [µg/m ³]
1.	Věřňovice	Karviná	ČHMÚ,MSK	RADIO	48,0
2.	Zlín-Svit	Zlín	MZLI	RADIO	45,3
3.	Český Těšín	Karviná	ČHMÚ	RADIO	43,4
4.	Ostrava-Radvanice ZÚ	Ostrava-město	ZÚ, SMOVA	OPEL	42,6
5.	Ostrava-Zábřeh	Ostrava-město	ČHMÚ	RADIO	42,2

Tabulka 3 - Nejhorší stanice z hlediska koncentrací PM₁₀ v roce 2014[25]

Z analýz provedených v projektu Air Silesia, která zkoumala kvalitu ovzduší v Moravskoslezském kraji v letech 2006 a 2010 v příhraniční oblasti, vyplývají hodnoty emisí pro jednotlivé zdroje (tabulka 4).

Tabulka 4 – Příspěvek skupin zdrojů k celkovým koncentracím PM₁₀ [µg/m³] [3]

Zdroj znečištění	2006		2010	
	České zdroje	Polské zdroje	České zdroje	Polské zdroje
Lokální topeniště	7,6	16,77	8,92	21,6
Doprava	4,64	1,38	3,18	2,0
Průmysl	9,51	5,35	5,37	7,39

Kromě toho byla, provedena studie Air Progres Czecho-Slovakia, jenž se zabývala koncentracemi PM₁₀ a NO₂, v závislosti na jejích zdrojích (tabulka 5). Byla provedena v roce 2014.

Tabulka 5 –Příspěvek skupin zdrojů k celkovým koncentracím ZL [μg/m³] [25]

	Průmysl	Lokální topeniště	Doprava
PM₁₀	28,86	1,64	8,76
NO₂	6,96	1,13	4,76

Tabulka 6 - Hodnoty emisí znečišťujících látek v období 2000-2013 [t/rok][30,31]

Rok	Emise TZL (MS kraj)	Emise NO ₂ (MS kraj)	Emise SO ₂ (MS kraj)	Emise TZL (Sl. Voj.)	Emise NO ₂ (Sl. Voj.)	Emise SO ₂ (Sl. Voj.)
2000	8,464	26,772	24,517	38,300	80,800	151,900
2001	8,179	27,924	24,087	32,700	76,900	143,700
2002	7,868	28,118	23,032	30,500	75,000	149,200
2003	8,063	28,857	22,295	28,900	73,100	149,200
2004	8,353	28,411	23,683	26,500	75,000	151,800
2005	7,478	28,980	24,821	22,400	71,200	146,400
2006	7,481	29,046	23,556	20,100	73,100	146,400
2007	7,852	29,781	23,748	21,800	75,000	151,900
2008	6,921	22,516	20,631	14,300	63,500	97,200
2009	5,771	21,284	18,776	11,600	61,500	83,300
2010	6,075	21,580	20,968	13,400	69,200	92,500
2011	5,074	21,553	19,373	12,700		89,000
2012	4,827	20,448	18,085	10,600		80,200
2013	4,825	19,850	18,501	10,600		80,500

V tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty emisí v Moravskoslezském kraji a ve Slezském vojvodství v Polsku, což jsou regiony, na jejichž rozmezí se stanice nachází, od roku 2000 do roku 2013. Hodnoty a průběh koncentrací budou porovnávány s průběhem koncentrací na imisní stanici Věřňovice.

6 Návrh postupu

Hlavním úkolem bude zpracování údajů z imisní stanice ve Věřňovicích v období od roku 1998-2014 a analýza dlouhodobých trendů koncentrací PM_{10} a NO_2 . Dalšími úkoly budou analýzy týdenního chodu koncentrací vybraných znečišťujících látek, analýza vlivu automobilové dopravy na koncentrace znečišťujících látek a analýza závislosti koncentrací znečišťujících látek na směru větru

6.1 Statistické vlastnosti koncentrací znečišťujících látek

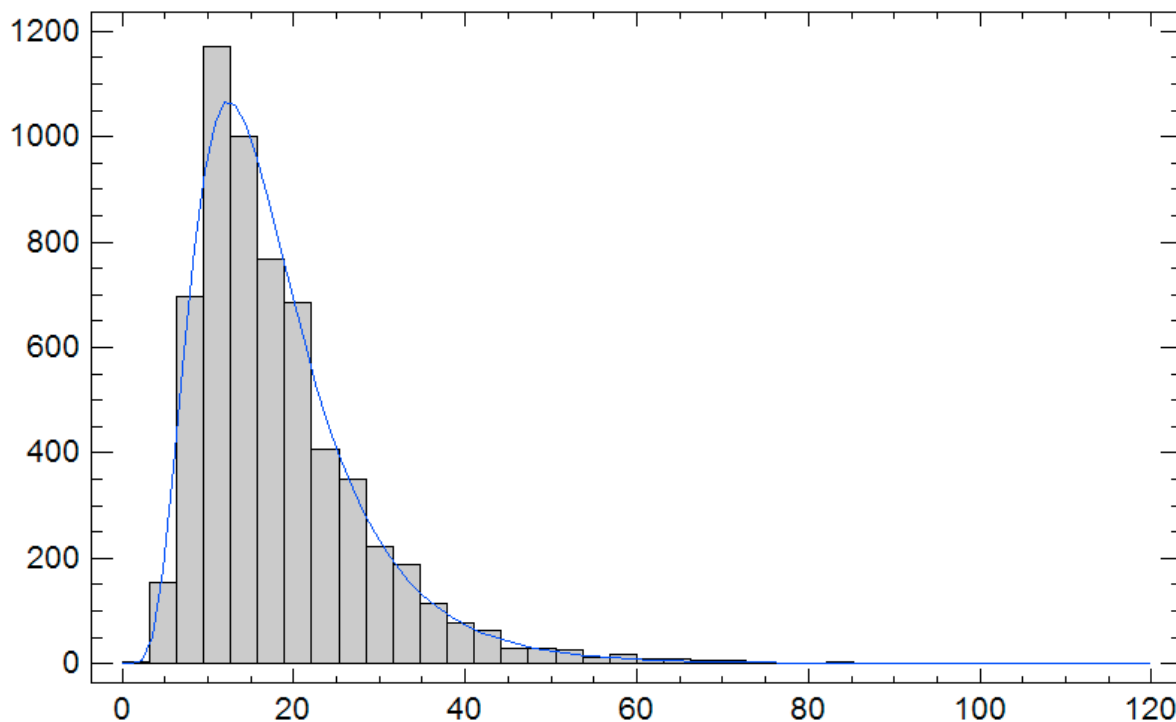
Koncentrace znečišťujících látek mají přibližně lognormální rozdělení.[8] Lognormální rozdělení není symetrické, není proto vhodné používat při analýze imisních dat postupy založené na aritmetických průměrech a výběrových rozptylech, protože tyto hodnoty jsou silně ovlivněny výskytem extrémně vysokých hodnot a nereprezentují dobře střední hodnotu a variabilitu dat. Z tohoto důvodu bude v práci použita tzv. robustní statistika, která je založena na kvantilech, které jsou odolné vůči odlehlým pozorováním.

Kvantily jsou statistiky, které charakterizují polohu jednotlivých hodnot v rámci proměnné. Obecně je kvantil definován jako hodnota, která rozděluje výběrový soubor na dvě části – první z nich obsahuje hodnoty, které jsou menší než daný kvantil; druhá část obsahuje hodnoty, které jsou větší nebo rovny danému kvantilu. Pro určení kvantilu je proto nutné výběr uspořádat od nejmenší hodnoty k největší.[18]

V práci budou použity kvantily:

- Minimum – 0% hodnot je nižších než minimum (0%-ní kvantil);
- 1.Kvartil (dolní kvartil) - rozděluje datový soubor tak, že 25% hodnot je menších než tento kvartil (25%-ní kvantil);
- Medián - rozděluje datový soubor tak, že polovina hodnot je menších než tento kvartil (50%-ní kvantil);
- 3.Kvartil (horní kvartil) - rozděluje datový soubor tak, že 75% hodnot je menších než tento kvartil (75%-ní kvantil);
- Maximum- 100% hodnot je nižších než maximum (100%-ní kvantil); [18]

Dalším pojmem používaným v analýzách je interval spolehlivosti, což je interval mezi prvním a třetím kvantilem.



Obrázek 6 - Histogram a empiricky určené lognormální rozdělení NO₂ [µg/m³] na imisním monitoringu Věřňovice

6.2 Postup analýz

K analýze se využívá hodnot koncentrací (PM₁₀, NO₂, SO₂) od roku 1998 do roku 2014. Prvním krokem, který bude prováděn, je výpočet charakteristických koncentrací (medián) jednotlivých látek pro každý rok. Kromě mediánů budou spočítány maximální a minimální koncentrace v jednotlivých letech. Pro určení variability vypočtených hodnot bude zjištěn interval spolehlivosti (1. kvartil – 3. kvartil).

Druhá analýza, která bude provedena, je založena na analýze závislosti koncentrací znečišťujících látek na dnu v týdnu. Budou opět provedeny výpočty mediánů, maxima, minima a intervalu spolehlivosti pro jednotlivé dny. Dále bude zkoumán vztah mezi koncentracemi znečišťujících látek a intenzitou dopravy.

Změny intenzity dopravy v jednotlivých dnech a obdobích popisuje technický předpis 189 (TP189) viz tabulka 7.[26] Ta znázorňuje intenzitu dopravy v jednotlivých dnech a obdobích.

Tabulka 7- Intenzita dopravy v jednotlivých dnech a obdobích podle TP189 [26]

I-H	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
Jarní	101,7	99,5	104,5	105,5	117,7	91,5	79,6
Prázdninové	99,9	96,8	101,2	102,3	112,6	99,5	87,7
Podzimní	102,9	99,7	103,5	104,6	117,2	90,6	81,5
Zimní	106,4	102,5	106,8	106,8	118,3	85,8	73,4
II-H							
Jarní	106,5	103,1	106,2	105,8	116	87,3	75,1
Prázdninové	104,4	103,7	107,3	107,9	112,3	86,6	77,8
Podzimní	106,6	104	106,6	107,9	116,6	85,1	73,2
Zimní	111,1	105,8	109,9	110	117,4	79,4	66,4

Pro analýzu závislosti koncentrací ZL na intenzitě dopravy byly z hodnot v tabulce 6 vypočteny souhrnné reprezentativní hodnoty jako aritmetický průměr výše uvedených hodnot, normalizovaný tak, aby průměrná hodnota byla rovna jedné, viz tabulka 8.

Tabulka 8- Závislost koncentrací z hlediska TP 189 na chodu dopravy

Den	Po	Út	St	Čt	Pá	So	Ne
Průměr koncentrací	1,049375	1,018875	1,0575	1,0635	1,160125	0,88225	0,768375

V poslední analýze bude využito imisních dat k určení koncentrací v závislosti na směru větru. Bude zjišťováno, z kterého směru přiházejí nevyšší koncentrace. Budou vypočteny mediány, minimum, maximum a interval spolehlivosti pro jednotlivé směry větru. Dále bude zkoumáno, jak se od sebe liší koncentrace znečišťujících látek při směru větru z Polska (SZ, S, SV a V vítr) a z Česka (JV, J, JZ a Z vítr).

7 Analýza koncentrací PM₁₀

Tato kapitola se zabývá změnou koncentrace PM₁₀ z hlediska dlouhodobého trendu (po letech), týdenního chodu a jejich změny v závislosti na směru větru. K analýze jsou využívány grafy s regresí, mediány a hodnoty z tabulek, ale i korelace emisí TZL z Moravskoslezského kraje (ČR) a Slezského vojvodství (PL).

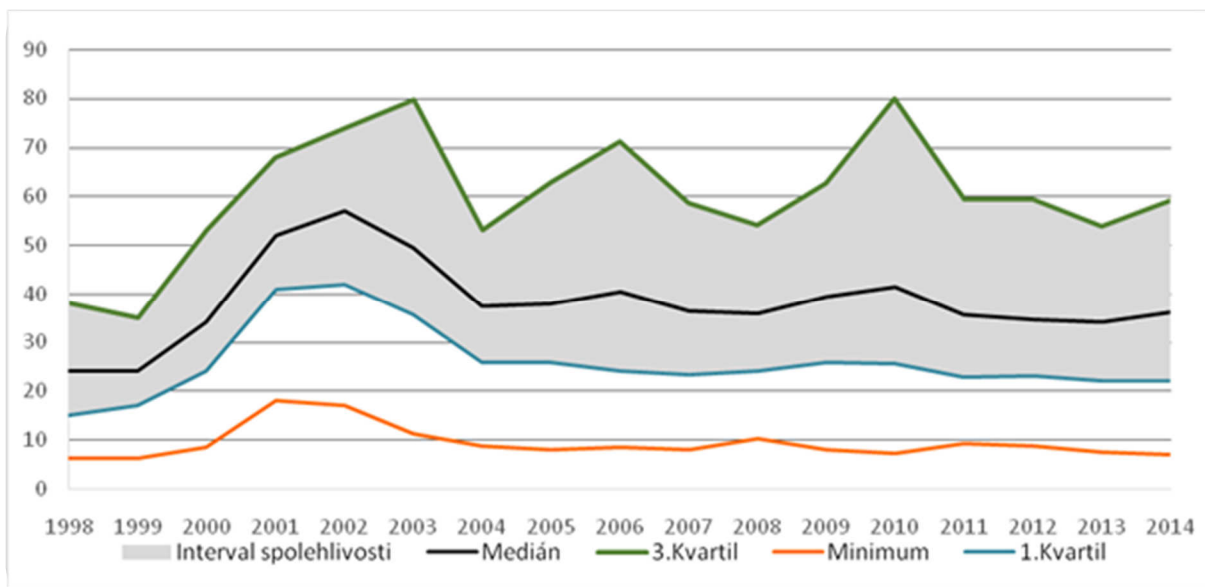
7.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací PM₁₀

Tato kapitola se zabývá závislostí koncentrace PM₁₀ z hlediska dlouhodobého trendu. Dále je sledována závislost koncentrací PM₁₀ naměřených ve Věřňovicích na emisích tuhých znečišťujících látek (TZL).

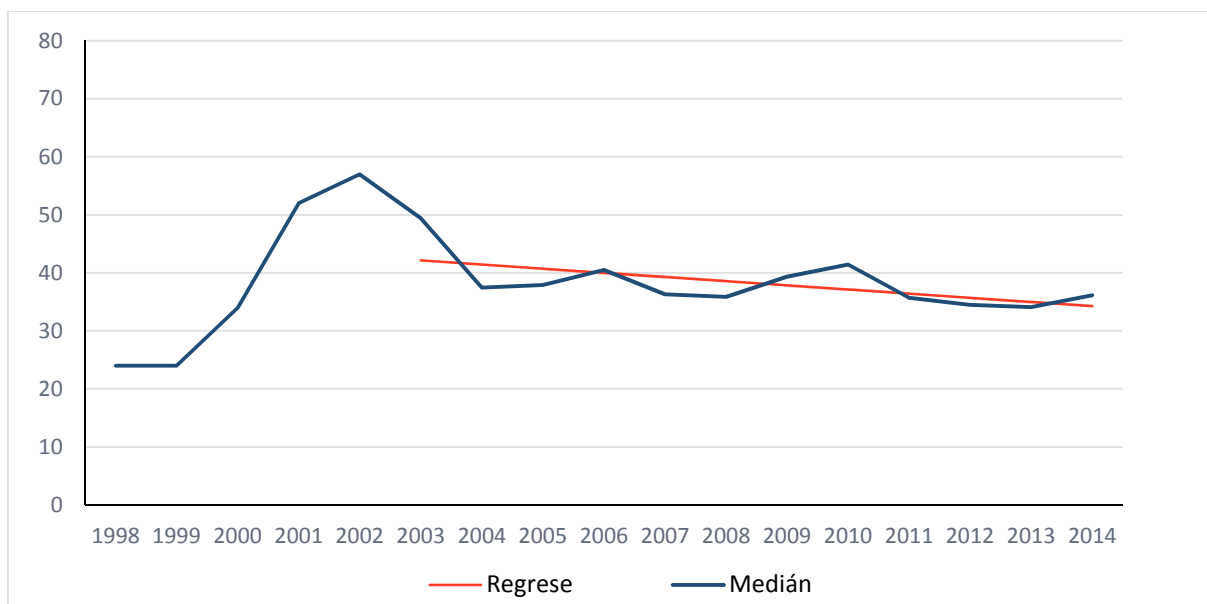
Tabulka 9 – Koncentrace PM₁₀ [μg/m³] v závislosti na roku měření

Rok	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
1998	345	6,17	15,00	38,30	38,00	206,00
1999	331	6,17	17,00	24,00	35,00	158,00
2000	336	8,52	24,00	34,00	53,00	176,00
2001	349	18,00	41,00	51,50	67,75	563,00
2002	358	17,00	42,00	57,00	74,00	545,00
2003	350	11,30	35,65	49,40	79,83	418,70
2004	354	8,70	25,95	37,45	53,00	288,70
2005	359	8,00	25,80	37,90	62,85	434,20
2006	361	8,40	24,20	40,50	71,20	742,40
2007	361	8,00	23,30	36,30	58,60	291,20
2008	362	10,10	23,98	35,85	54,20	394,10
2009	350	7,90	25,85	39,35	62,68	298,40
2010	360	7,10	25,55	41,40	80,05	567,90
2011	359	9,20	22,90	35,70	59,35	280,20
2012	357	8,70	23,05	34,35	59,35	549,10
2013	342	7,50	22,05	34,10	53,75	255,40
2014	364	6,80	21,98	36,15	59,05	233,20

V tabulce 9, jsou uvedeny hodnoty koncentrací PM₁₀ od roku 1998 do roku 2014. Od roku 2002 je patrný pokles koncentrací (viz graf 1).



Graf 1- Závislost koncentrací PM₁₀ [µg/m³] roku měření



Graf 2- Trend koncentrací PM₁₀ [µg/m³]

Z analýzy (graf 1) vyplývá, že mezi lety 1999-2002 dochází na stanici k výraznému zhoršení kvality ovzduší, kterému neodpovídá statistika emisí. Od roku 2003 lze pozorovat setrvalý mírný pokles koncentrací PM₁₀. Z hodnot třetího kvartilu je patrné, že v letech 2006 a 2010 jsou hodnoty koncentrací silně ovlivněny dlouhou a chladnou zimou. Hodnoty mediánů tyto meteorologické faktory ovlivnily pouze slabě.

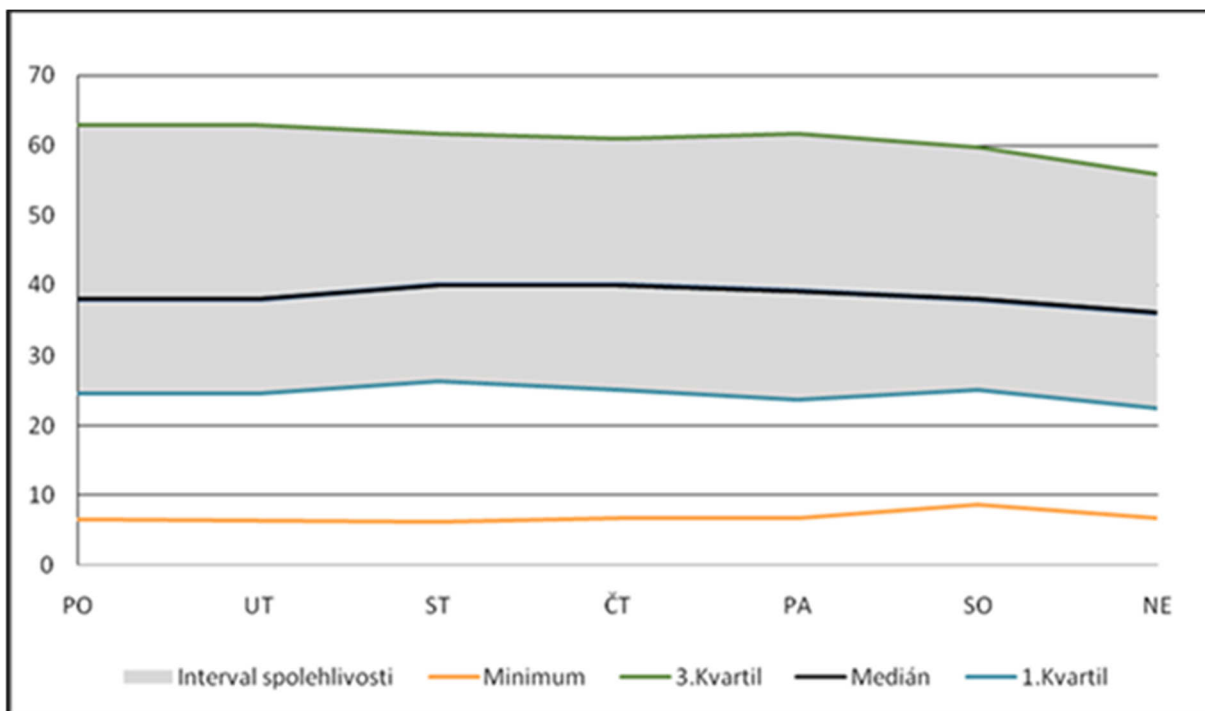
V grafu 2 je pomocí lineární regrese znázorněn trend poklesu koncentrací PM_{10} rychlostí $0,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok. Z grafu je rovněž patrná souvislost mezi poklesem emisí TZL v ČR a v Polsku a poklesem koncentrací PM_{10} , korelace mezi těmito časovými řadami je 0,59, resp. 0,51 s emisemi TZL v Polsku. Korelace není vyšší, protože opatření na snížení emisí byla aplikována převážně na vysoké zdroje emisí, jejichž relativní vliv na hodnotu koncentrací je nižší než u zdrojů nízkých. V současné době se koncentrace PM_{10} na stanici Věřňovice blíží hodnotám z let 2000-2001 a v případě zachování trendu posledních 12 let lze očekávat v příštích letech další pokles koncentrací k hranici imisního limitu.

7.2 Analýza týdenního chodu koncentrací PM_{10}

Tato kapitola se zabývá změnou koncentrace PM_{10} v týdenním chodu, který je charakteristický pro automobilovou dopravu. K určení vlivu automobilové dopravy je využita analýza závislosti mediánu koncentrací PM_{10} na intenzitě dopravy.

Tabulka 10 – Koncentrace PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] podle dnů v týdnu

Den	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
PO	845	6,44	24,48	38,00	63,00	732,50
ÚT	859	6,29	24,50	38,00	63,00	742,40
ST	857	6,17	26,30	40,00	61,80	404,10
ČT	859	6,69	25,00	40,00	61,05	424,20
PA	859	6,75	23,68	39,20	61,55	549,10
SO	858	8,60	25,00	38,00	59,83	563,00
NE	861	6,74	22,40	36,10	55,90	503,10



Graf 3- Závislost koncentrací PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na dnech v týdnu

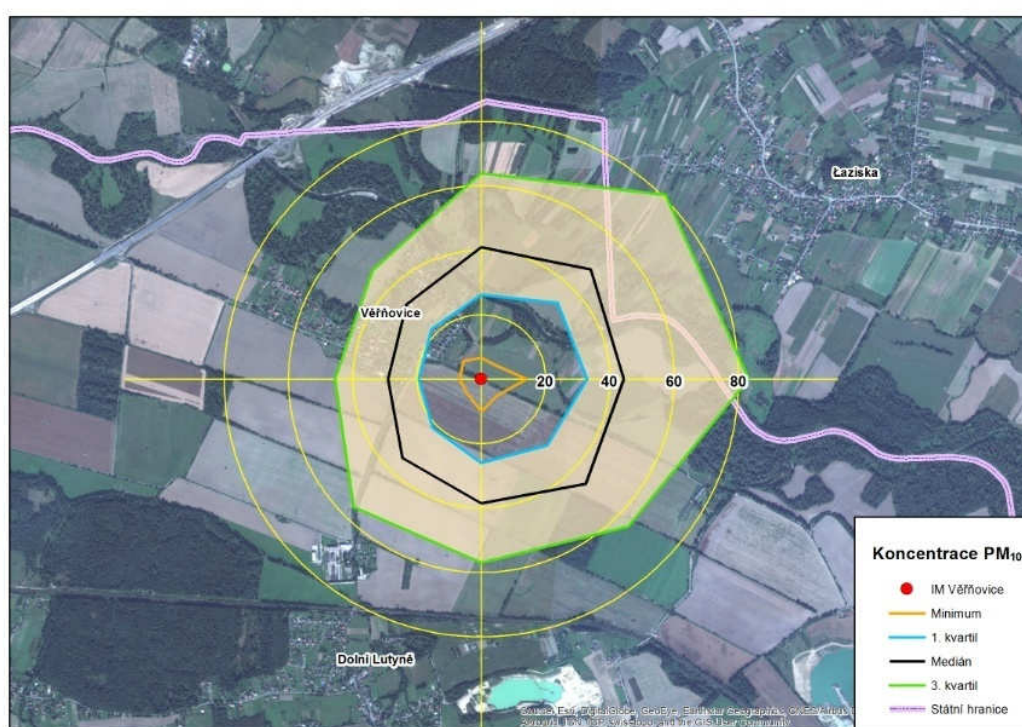
Z grafu 3, který se zabývá změnou koncentrace PM_{10} v závislosti na chodu týdne vyplývá, že koncentrace se v průběhu týdne mění málo, přesto existuje silná korelace mezi mediány koncentrací PM_{10} a intenzitou dopravy. Hodnota korelace je 0,80. Z tohoto důvodu je možné provést regresní analýzu závislosti mediánu koncentrací PM_{10} na intenzitě dopravy. Výsledkem analýzy je určení podílu dopravy na celkových koncentracích PM_{10} . Podle výsledku analýzy se automobilová doprava podílí na mediánu koncentrací PM_{10} z 22% ($8,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

7.3 Analýza závislosti koncentrací PM_{10} na směru větru

Cílem této kapitoly je určit koncentrace PM_{10} v závislosti na směru větru. Je výsledována závislost koncentrací PM_{10} na směru větru a jsou porovnány mediány koncentrací z Česka a Polska.

Tabulka 11 –Koncentrace PM_{10} [$\mu g/m^3$]vzhledem ke směru větru

Směr větru	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
S	902	6,58	26,13	41,00	63,88	406,90
SV	994	6,17	33,50	48,10	80,90	567,90
V	94	14,00	32,88	44,30	83,18	418,70
JV	73	7,13	29,00	46,00	64,70	394,10
J	389	10,00	26,00	38,50	56,90	545,00
JZ	2915	6,29	21,40	34,50	56,10	742,40
Z	285	6,80	19,50	29,10	45,50	408,60
SZ	228	7,90	22,00	32,90	47,80	168,00



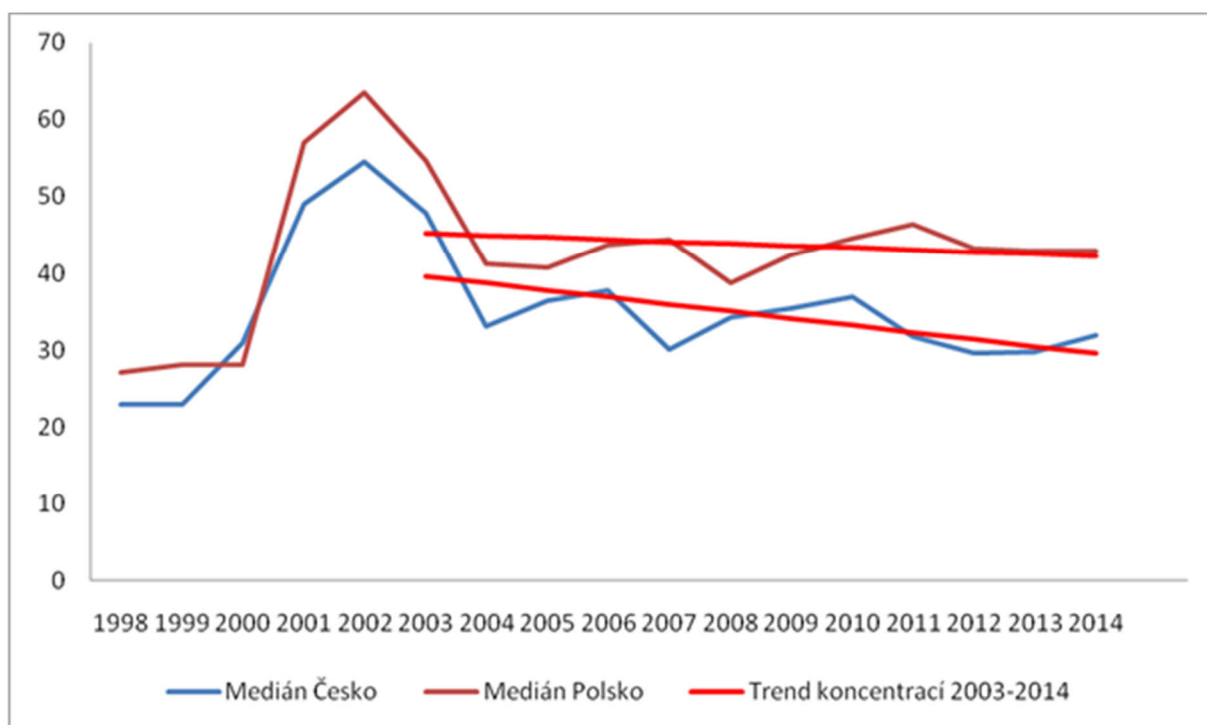
Obrázek 7- Závislost koncentrací PM_{10} [$\mu g/m^3$] na směru větru

Z obrázku 7 závislosti koncentrací PM_{10} na směru větru je dobře viditelné, že k nejvyšším koncentracím PM_{10} dochází při severovýchodním směru větru, tj. z polského území. Z výsledků je rovněž patrné, že stanice se nachází ve středu znečištěného území, proto jsou koncentrace znečišťujících látek významné ze všech směrů. Zajímavou skutečností je, že nejnižší medián koncentrací je při západním větru, tedy směru, ve které se nacházejí blízké Věřovice.

Dalším krokem analýzy bylo srovnání mediánů koncentrací při směru větru z Polska (SZ, S, SV, V vítr) a z Česka (JV, J, JZ, Z vítr) v závislosti na roku měření. Výsledky analýzy jsou zobrazeny v Tabulce 12 a Grafu 4.

Tabulka 12 – Mediány PM₁₀ [µg/m³] v závislosti na směru větru a roku měření

Rok	Medián Česko	Medián Polsko
1998	23,00	27,00
1999	23,00	28,00
2000	31,00	28,00
2001	49,00	57,00
2002	54,50	63,50
2003	47,90	54,60
2004	33,10	41,20
2005	36,45	40,60
2006	37,70	43,70
2007	30,15	44,30
2008	34,30	38,60
2009	35,50	42,40
2010	37,00	44,50
2011	31,85	46,30
2012	29,65	43,20
2013	29,80	42,85
2014	31,95	42,80



Graf 4–Mediány koncentrací PM₁₀ [µg/m³] z Česka a Polska v období 1998-2014

Z výsledků analýzy je patrné, že oba analyzované trendy jsou podobné a u obou směrů dochází k postupnému poklesu koncentrací PM₁₀. Rozdíl je v rychlosti poklesu, který je při směru větru z Česka 0,91 µg/m³ za rok a při směru větru z Polska 0,28µg/m³ za rok. Dochází tak ke zvyšování rozdílu v koncentracích.

7.4 Diskuse analýz PM₁₀

Z provedených analýz vyplývá, že analyzované období mezi lety 1998-2014 lze rozdělit na dva časové intervaly s odlišným charakterem chování koncentrací PM₁₀. Období mezi lety 1998-2002 je charakteristické rychlým růstem koncentrací PM₁₀ o 4,75 µg/m³ za rok, období mezi lety 2003-2014 je charakteristické mírným poklesem koncentrací PM₁₀ o 0,72 µg/m³ za rok. Pokles koncentrací PM₁₀ po roce 2003 lze vysvětlit, poklesem tuhých emisí jak z českých, tak polských zdrojů. Rychlý růst koncentrací PM₁₀ mezi lety 1998-2002 není možné vysvětlit na základě emisních bilancí v přilehlých oblastech. Je pravděpodobné, že tento nárůst je způsoben změnou v emisích, která není zachycena v emisních bilancích. Pravděpodobná je změna struktury paliv v lokálních topeništích nebo nepřesná či neúplná data o emisích z průmyslových zdrojů.

Pomocí analýzy závislosti chodu koncentrací PM_{10} na dnech v týdnu a známých údajích o změnách intenzity dopravy je možné odhadnout vliv automobilové dopravy na koncentrace PM_{10} . Automobilová doprava se podle výsledků analýzy podílí na koncentracích PM_{10} 8,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tj. tvoří 22% imisí.

Analýza závislosti koncentrací PM_{10} na směru větru ukazuje, že při směru větru z Polska dochází k vyšším koncentracím PM_{10} . Při směru větru ze SV směru od blízké obce Łaziska, resp. města Jastrzębie-Zdrój je medián koncentrací PM_{10} o 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vyšší než při JZ větru, ve směru od Ostravy, resp. o 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vyšší než při Z větru, ve směru od nedalekých Věřňovic.

Analýza dlouhodobého trendu závislosti koncentrací PM_{10} na směru větru odhalila, že pokles imisí je rychlejší při směru větru z Česka (o 0,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok) než při směru větru z Polska (o 0,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok), v roce 2014 činil rozdíl v charakteristických koncentracích 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

8 Analýza koncentrací NO₂

V této kapitole je hlavním cílem sledovat jakým způsobem se mění koncentrace NO₂ v závislosti na dlouhodobém vývoji (po rocích), týdenním chodu a z hlediska směru větru. Pro analýzu jsou použity grafy s regresí, mediany, kromě nich se vychází z hodnot v tabulkách a pro týdenní chod je využit technický předpis (TP 189), aby se určila závislost na dopravě.

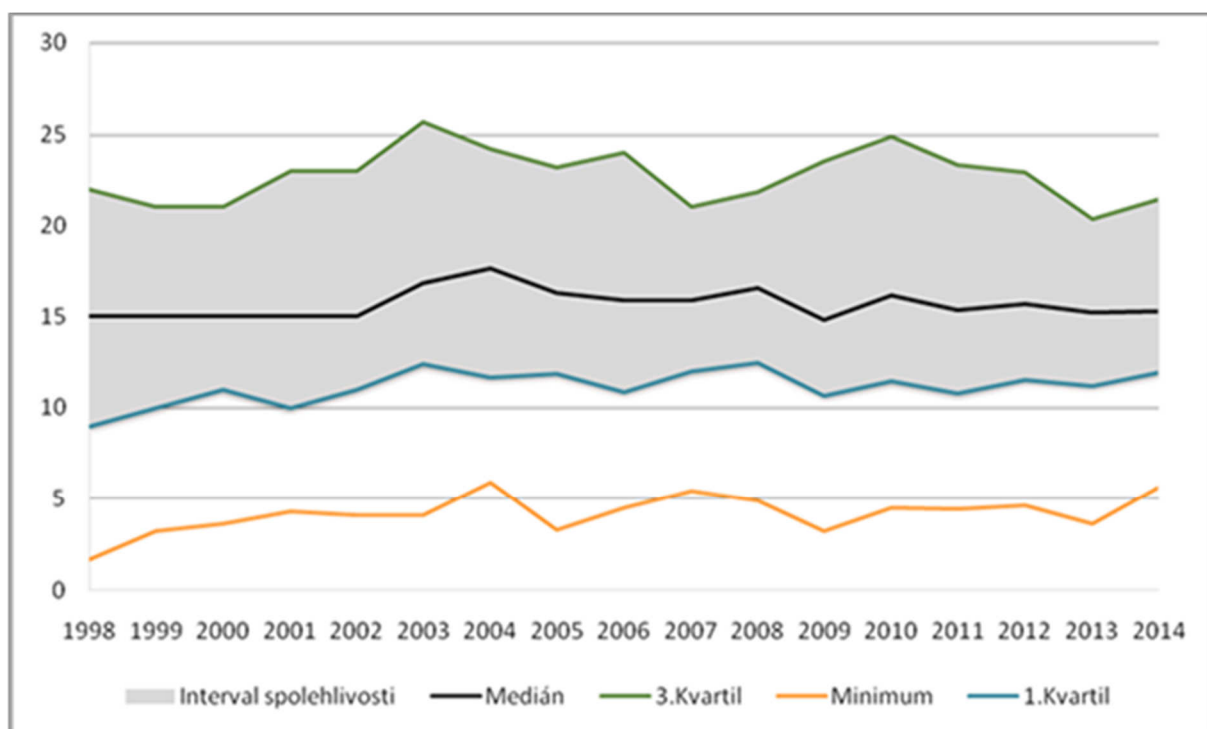
8.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací NO₂

Cílem kapitoly je zjistit, jak se mění koncentrace NO₂ z hlediska dlouhodobého vývoje. Kromě toho je kladena pozornost na změnu koncentrací oxidu dusičitého s emisemi oxidů dusíku.

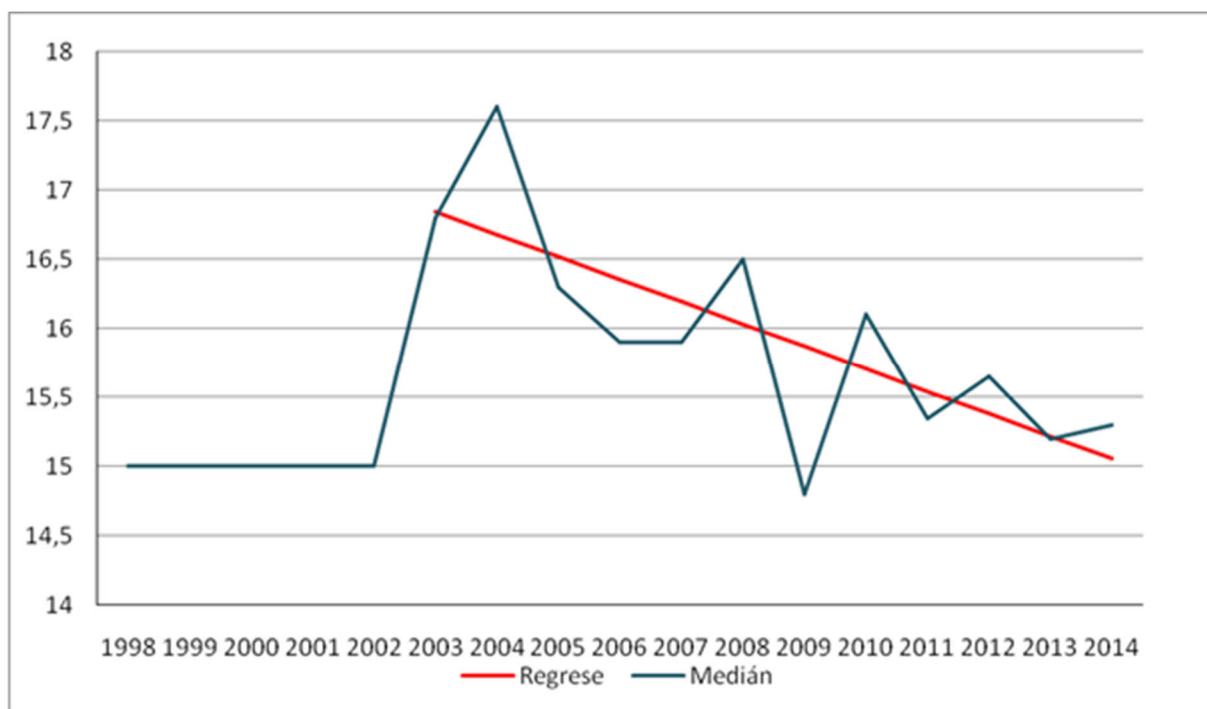
Tabulka 13 – Koncentrace NO₂ [µg/m³] v závislosti na roku měření

Rok	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
1998	354	1,69	9,00	15,00	22,00	70,00
1999	329	3,26	10,00	15,00	21,00	50,00
2000	335	3,64	11,00	15,00	21,00	50,00
2001	363	4,27	10,00	15,00	23,00	62,00
2002	359	4,12	11,00	15,00	23,00	71,00
2003	365	4,10	12,40	16,80	25,70	69,30
2004	356	5,90	11,70	17,60	24,20	72,30
2005	353	3,30	11,90	16,30	23,20	82,50
2006	357	4,50	10,90	15,90	24,00	103,90
2007	362	5,40	12,00	15,90	21,00	53,30
2008	363	4,90	12,48	16,50	21,83	45,50
2009	361	3,20	10,70	14,80	23,50	66,10
2010	364	4,50	11,48	16,10	24,90	84,90
2011	362	4,40	10,80	15,35	23,30	60,30
2012	356	4,60	11,50	15,60	22,90	68,10
2013	343	3,60	11,25	15,20	20,35	64,70
2014	363	5,60	11,95	15,30	21,40	50,90

V tabulce 13, jsou příslušné koncentrace NO₂ pro období 1998 až 2014. Je viditelné, že od roku 2005 dochází k postupnému poklesu koncentrací NO₂.



Graf 5- Závislost koncentrací NO₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] roku měření



Graf 6- Trend mediánu koncentrací NO₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Po provedení analýzy (graf 5) je patrné, že od roku 1998 do roku 2002 jsou hodnoty koncentrací konstantní. Nejvyšší hodnoty je dosaženo v roce 2004. Od následujícího roku 2005 je dobře viditelný, postupný pokles koncentrací NO₂. Vyjímkou jsou roky 2008 a 2010, kdy dochází k nárůstu koncentrací NO₂. V závislosti na 3 kvartilu je viditelné, že v letech 2003 a 2010 jsou hodnoty koncentrací velkým způsobem ovlivněny silnou zimou. U mediánů se tyto faktory skoro neprojevují.

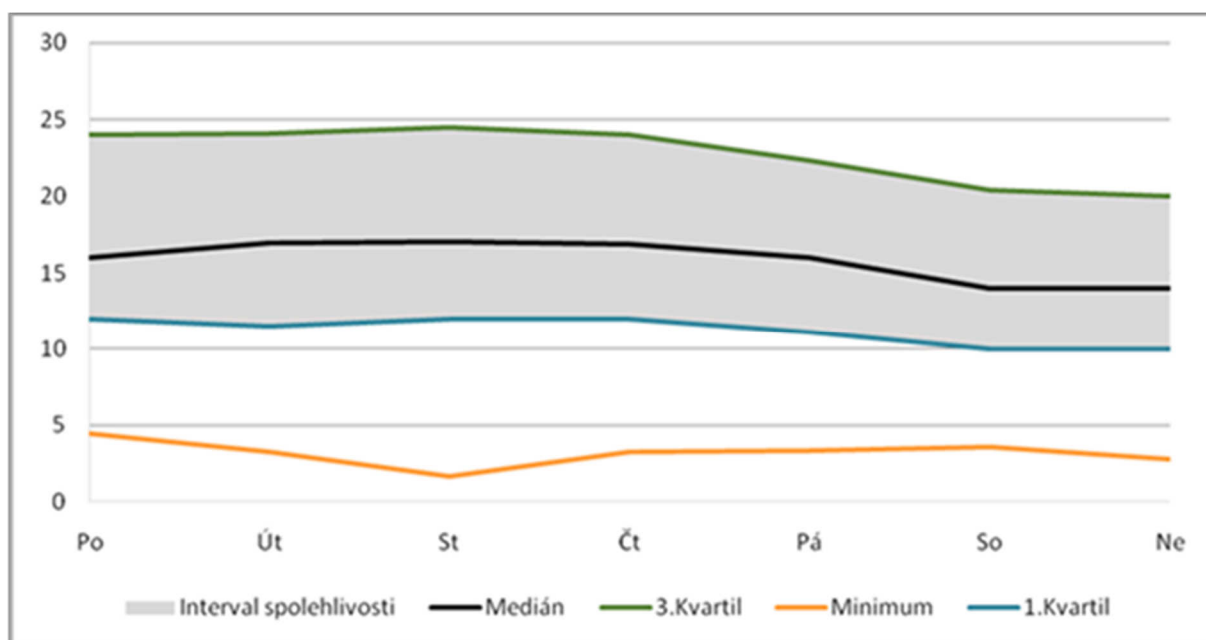
Z grafu 6, který popisuje změnu koncentrace NO₂ s použitím lineární regrese, je viditelné, že průměrně klesá koncentrace o 0,17 µg/m³ za rok. Korelace pro toto období je 0,33. Od roku 2008 je dobře viditelný pokles NO₂ pro ČR, který koresponduje s grafem koncentrací, které jsou v tomto období naměřeny na stanici ve Věřňovicích. Prudký pokles koncentrací NO₂ v roce 2009 ukazuje, že jsou ovlivněny průmyslovou činností, která v celé Evropě v roce 2009 krátkodobě prudce poklesla.

8.2 Analýza týdenního chodu koncentrací NO₂

V této kapitole je zkoumána koncentrace NO₂ v týdenním chodu z hlediska dopravy. Pro zjištění, jak velkým způsobem jsou koncentrace závislé na dopravě, se využije analýzy mediánu koncentrací NO₂ na týdenní intenzitě dopravy.

Tabulka 14 – Koncentrace NO₂ [µg/m³] podle dnů v týdnu

Den v týdnu	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
Po	858	4,46	12,00	16,00	24,00	93,00
Út	867	3,30	11,50	16,90	24,10	103,90
St	869	1,69	12,00	17,00	24,48	70,00
Čt	862	3,26	12,00	16,85	24,00	71,50
Pá	861	3,38	11,10	16,00	22,30	75,40
So	869	3,60	10,00	14,00	20,40	65,00
Ne	859	2,81	10,00	14,00	20,00	66,70



Graf 7- Závislost koncentrací NO₂ [µg/m³] na dnech v týdnu

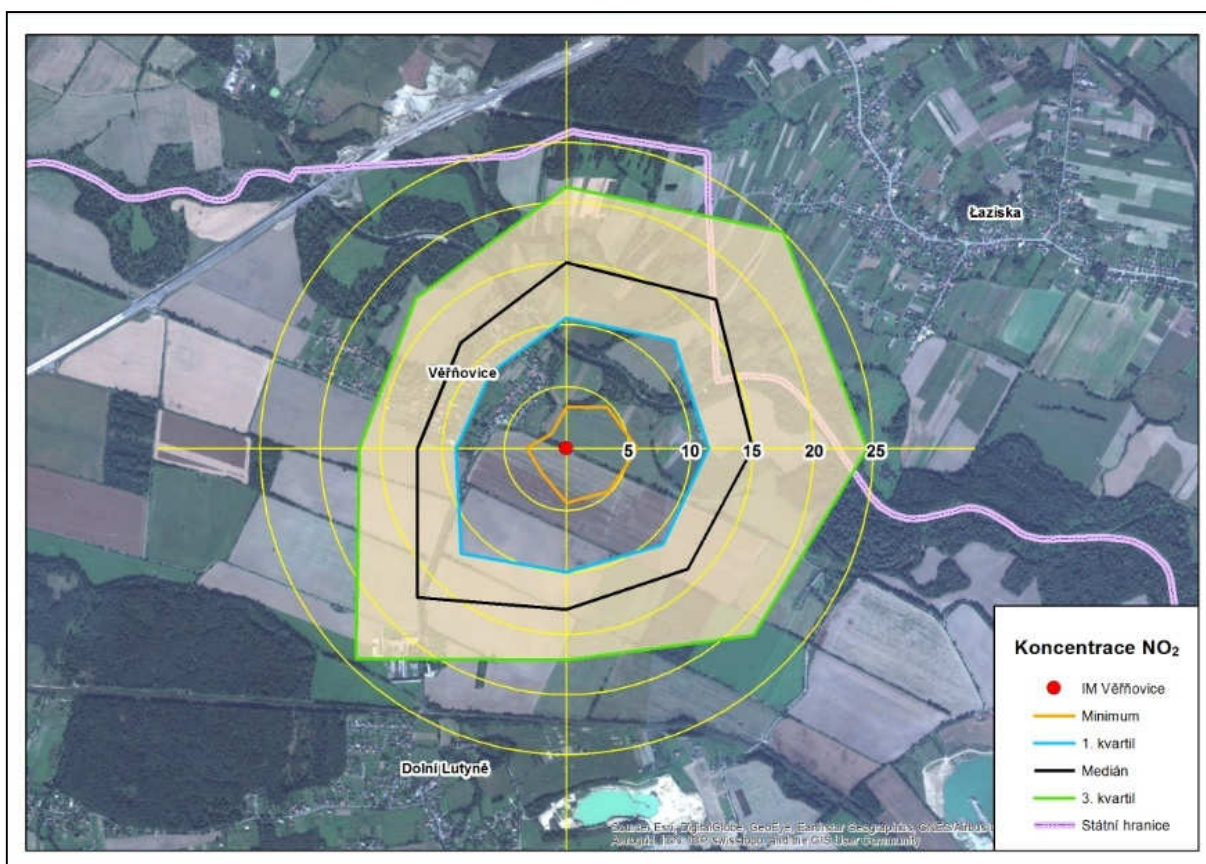
Z grafu 7, který zkoumá závislost koncentrace NO₂ na dnech v týdnu, je dobře viditelný nárůst hodnot v pracovním týdnu, tedy od pondělí do pátku. Naopak v sobotu a neděli je patrný pokles. Po provedení korelace mezi hodnotami mediánů NO₂ a intenzitou dopravy je patrné, že se jedná o silnou korelaci 0,80. Proto je provedena regresní analýza, z níž vyplývá, jakým způsobem se doprava podílí na celkovém množství NO₂. Výsledkem regresní analýzy je zjištění, že doprava se podílí na koncentracích NO₂ z 51% (8,01 µg/m³).

8.3 Analýza závislosti koncentrací NO₂ na směru větru

Tato kapitola je zaměřena na hodnoty koncentrace NO₂ vzhledem ke směru větru. Je zjištěno, jak velká je závislost koncentrací NO₂ podle směru větru a je provedeno srovnání hodnot mediánů z České republiky a Polska.

Tabulka 15 –Koncentrace NO₂ [μg/m³] vzhledem ke směru větru

Směr větru	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
S	905	3,30	10,70	15,00	21,10	82,20
SV	1005	4,66	12,30	17,00	24,68	84,90
V	95	5,71	11,45	15,00	24,25	71,00
JV	76	4,90	11,00	13,80	21,33	56,00
J	394	4,40	10,00	13,00	17,08	75,40
JZ	2929	2,81	12,00	17,00	24,00	103,90
Z	286	3,20	8,90	12,00	16,68	82,50
SZ	234	1,69	8,62	12,05	17,18	45,00



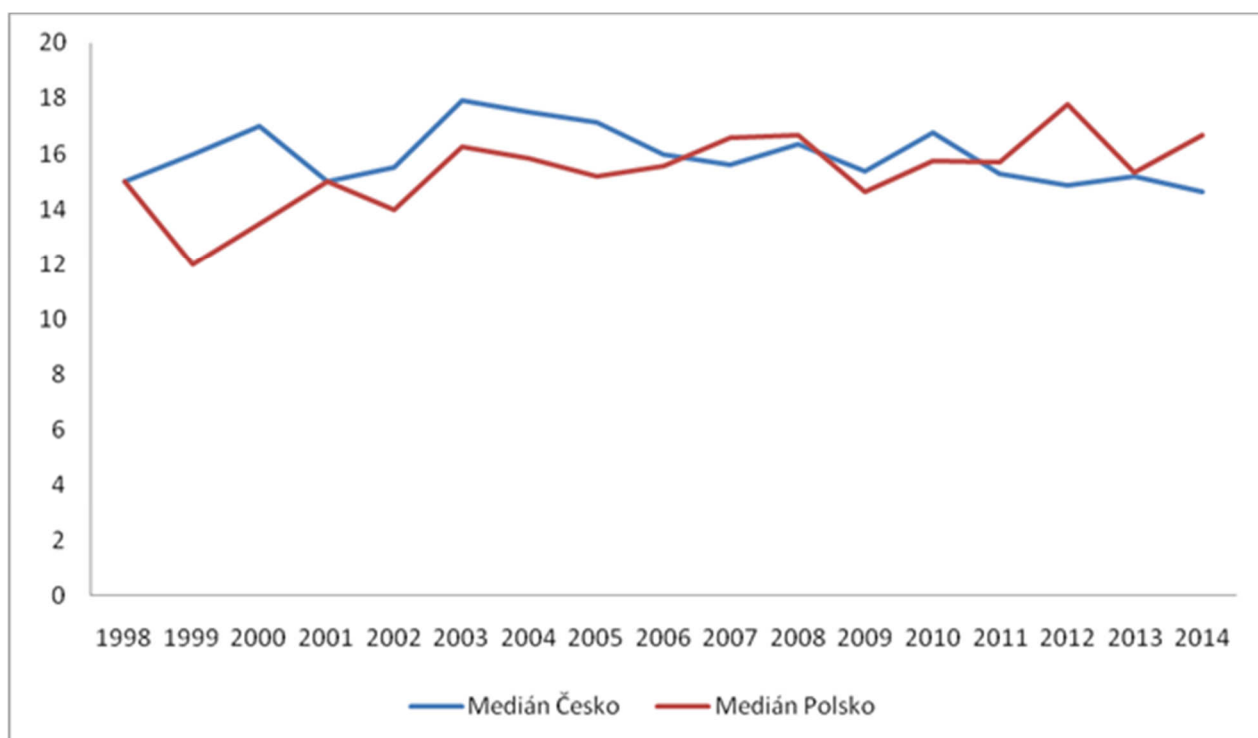
Obrázek 8 - Závislost koncentrací NO₂ [μg/m³] na směru větru

Ze závislosti koncentrací NO₂ na směru větru (obrázek 8) je viditelné, že nepatrně větší množství imisí přichází ze severovýchodního směru, tedy z území Polska a z jihozápadního směru. Pravděpodobným zdrojem z jihozápadu je nedaleká silnice I/67. Ze získaných hodnot viz. tabulka 16 je viditelné, že z ostatních směru dosahují koncentrace podobných hodnot. Nejnižší koncentrace je dosaženo ze západního směru větru, tj. od Věřovic.

Dalším typem analýzy, jenž byl proveden, je porovnání koncentrací medianů v závislosti na směru větru z území České republiky (JV, J, JZ, Z vítr) a Polska (SZ, S, SV, V vítr) v období od roku 1998 do roku 2014. Analýza je popsána v tabulce 16 a grafu 8.

Tabulka 16 – Mediány NO₂ [μg/m³] v závislosti na směru větru a roku měření

Rok	Medián Česko	Medián Polsko
1998	15,00	15,00
1999	16,00	12,00
2000	17,00	13,50
2001	15,00	15,00
2002	15,50	14,00
2003	17,90	16,25
2004	17,50	15,85
2005	17,10	15,20
2006	16,00	15,55
2007	15,60	16,60
2008	16,35	16,70
2009	15,40	14,65
2010	16,75	15,75
2011	15,30	15,70
2012	14,90	17,80
2013	15,20	15,35
2014	14,65	16,70



Graf 8 – Mediány koncentrací NO₂ [µg/m³] z Česka a Polska v období 1998-2014

Z provedené analýzy (graf 8) lze vidět, že zatímco trend koncentrací imisí NO₂ v České republice postupně klesá, tak na území Polska dochází k postupnému nárůstu. V Česku se jedná o pokles 0,06 µg/m³ za rok, zatímco v Polsku je viditelný nárůst o 0,18 µg/m³ za rok. Nárůst v Polsku je způsobený pravděpodobně zvyšující se intenzitou dopravy v příhraniční oblasti.

8.4 Diskuse analýz NO₂

Z analýzy je patrné, že z hlediska dlouhodobého vývoje od roku 1998 do 2014 proběhly tři časová období s různým průběhem chování koncentrací NO₂. Pro první období 1998 – 2002 je typické, že hodnoty koncentrací NO₂ se nemění. Dosahují hodnoty 15 µg/m³ za rok. To bylo pravděpodobně způsobeno nižší citlivostí měřící aparatury, která byla v roce 2003 nahrazena citlivější. Od roku 2003 do roku 2004 je viditelný značný nárůst o 2,6 µg/m³ za rok. Nárůst je s největší pravděpodobností způsobený stejnými zdroji jako nárůst koncentrací PM₁₀. Období od roku 2004-2014 je charakterizováno pomalým poklesem hodnot koncentrací, v průměru o 0,16 µg/m³ za rok.

Z analýzy, která zkoumá závislost změny koncentrací NO₂ během dnů v týdnu, je patrné, že k jejich změnám dochází v závislosti na intenzitě dopravy. Je viditelný nárůst koncentrací během pracovního týdne, při čemž nejvyšších koncentrací je dosaženo ve středu.

Naopak nejnižší hodnota je v neděli. Tato změna koncentrací odpovídá intenzitě dopravy. Mezi mediánem koncentrací NO₂ a intenzitou dopravy má korelace hodnotu 0,8. Následně provedená regrese umožnila odhadnout podíl dopravy na celkových koncentracích NO₂ na 51% neboli 8,01 µg/m³ z celkových koncentrací NO₂.

Provedením analýzy, která má za cíl zjistit změnu koncentrací NO₂ na směru větru vyplývá, že nejvyšší hodnoty imisí jsou z jihozápadního a severovýchodního směru. V těchto dvou směrech jsou koncentrace o 2 µg/m³ vyšší nežli z jiných směrů. Ze severovýchodu je příčinou zvýšených koncentrací obec Łaziska a intenzita dopravy v ní. Z jihozápadu je příčinou silnice I/67 (8500 vozidel/den) a komplex zdrojů v Ostravě a okolí. Naopak nejnižší koncentrace je ze západního směru, kde se nachází obec Věřňovice.

Z hlediska dlouhodobého vývoje změny koncentrací NO₂ na větru vyplývá, že zatímco v České republice dochází k poklesu 0,06 µg/m³ za rok tak v Polsku je viditelný v posledních letech nárůst koncentrací o 0,17 µg/m³ za rok. Tento nárůst je nejspíše způsobený, zvyšující se intenzitou dopravy v příhraniční oblasti Polska

9 Analýza koncentrací SO₂

Cílem kapitoly je zjistit, jak se změnil hodnoty koncentrací SO₂ z hlediska dlouhodobého vývoje (po letech), dnu v týdnu a z hlediska závislosti na směru větru. K zjištění výsledků analýzyse využije grafu s regresemi, mediany.

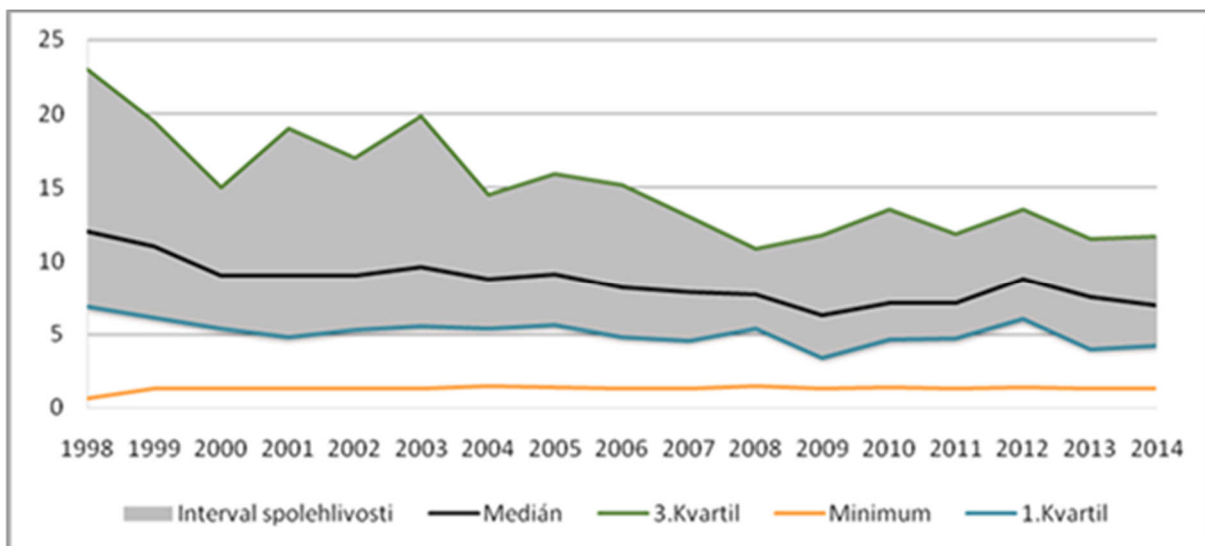
9.1 Analýza dlouhodobého trendu koncentrací SO₂

V této kapitole je zkoumána závislost koncentrací SO₂ z hlediska dlouhodobého trendu.

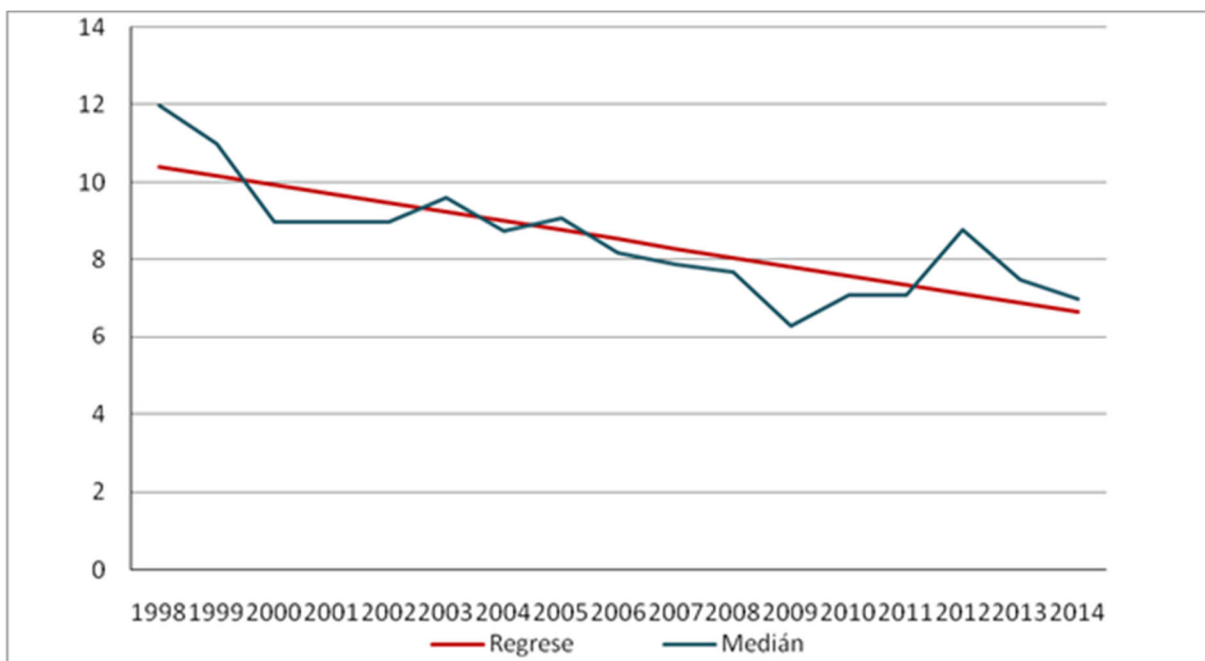
Tabulka 17 – Koncentrace SO₂ [μg/m³] v závislosti na roku měření

Rok	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
1998	344	0,66	6,83	12,00	23,00	110,00
1999	327	1,33	6,12	11,00	19,50	90,00
2000	349	1,33	5,20	9,00	15,00	70,00
2001	363	1,33	4,78	9,00	19,00	96,00
2002	361	1,33	5,22	8,99	17,00	158,00
2003	359	1,30	5,50	9,60	19,80	128,80
2004	362	1,50	5,40	8,70	14,50	119,10
2005	359	1,40	5,60	9,10	15,90	118,80
2006	361	1,30	4,80	8,20	15,20	144,70
2007	360	1,30	4,58	7,90	13,03	58,40
2008	363	1,50	5,38	7,70	10,83	48,30
2009	361	1,30	3,40	6,30	11,80	69,80
2010	358	1,40	4,60	7,10	13,48	121,70
2011	363	1,30	4,70	7,10	11,85	60,30
2012	357	1,40	6,00	8,80	13,50	82,10
2013	343	1,30	4,00	7,50	11,55	60,60
2014	363	1,30	4,20	7,00	11,70	47,50

V tabulce 17, jsou uvedeny hodnoty koncentrací SO₂ z hlediska dlouhodobého vývoje od roku 1998 až 2014. Z hodnot koncentrací pro jednotlivé roky je viditelné, že od roku 1998 dochází k postupnému poklesu koncentrací.



Graf 9- Závislost koncentrací SO₂ [µg/m³] na roku měření



Graf 10- Trend mediánu koncentrací SO₂ [µg/m³]

Z provedené analýzy je zjištěno, že od roku 1998 dochází k trvalému mírnému poklesu koncentrací SO₂ (graf 9). Vyjímkou je rok 2009, kdy došlo k významnějšímu poklesu opoť dřívějším a následujícím letům. Naopak v roce 2012 je dobře viditelný nárůst. V 3. kvartilu je v letech 2002 a 2003 dobře znatelný nárůst. Ten je nejspíše způsobený silnou zimou.

Pro graf 10, jenž se zabývá koncentracemi SO₂ platí, že dochází k postupnému poklesu koncentrací o 0,23 µg/m³ za rok. Pokles je znázorněn regresní křivkou. V roce 2009 je patrný

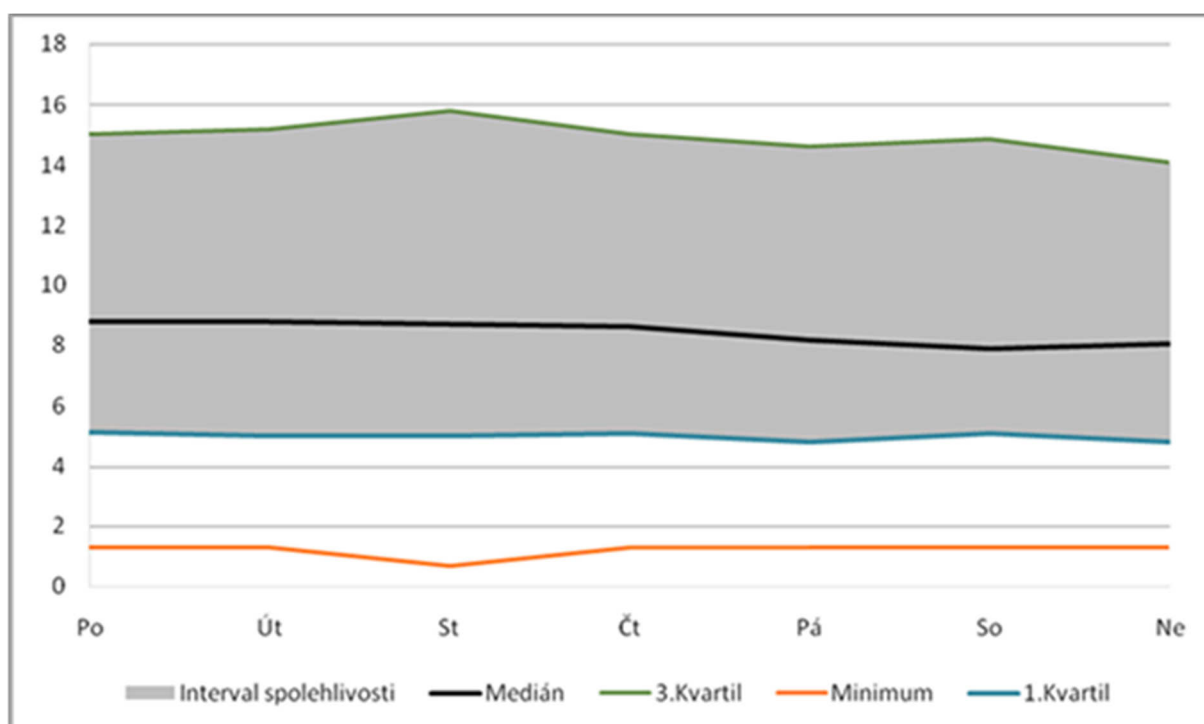
prudký pokles koncentrací SO₂ vlivem celoevropského krátkodobého prudkého poklesu průmyslové produkce.

9.2 Analýza týdenního chodu koncentrací SO₂

Hlavním cílem v této kapitole je zjistit, jak se změnila koncentrace SO₂ v závislosti na týdenním chodu. K určení, jak velký vliv má na koncentrace SO₂ doprava se využije korelací, jenž se řídí technickým předpisem 189 (TP 189).

Tabulka 18 – Koncentrace SO₂ [μg/m³] podle dnů v týdnu

Den v týdnu	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
Po	858	1,30	4,80	8,00	14,00	104,60
Út	856	1,30	5,10	8,77	15,00	135,00
St	869	0,66	5,00	8,80	15,20	144,70
Čt	870	1,30	5,00	8,70	15,80	121,00
Pá	862	1,30	5,10	8,63	15,00	128,80
So	864	1,30	4,80	8,19	14,55	158,00
Ne	874	1,30	5,10	7,90	14,88	105,00



Graf 11- Závislost koncentrací SO₂ [μg/m³] na dnech v týdnu

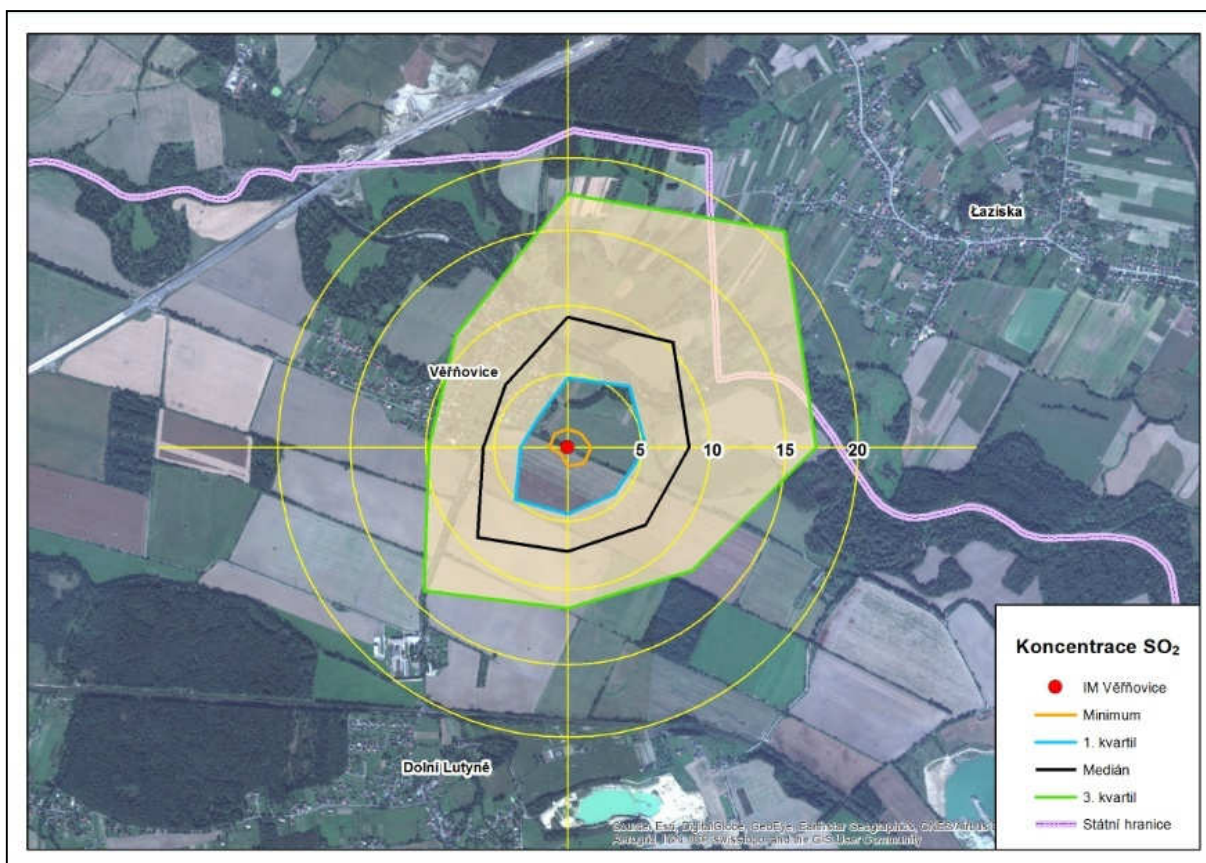
Pro graf 11, jenž se zaměřuje na změnu koncentrace SO₂ v závislosti na měnících se dnech v týdnu plyne, že hodnoty koncentrací se v jednotlivých dnech v týdnu v podstatě nemění, liší se mezi sebou jen velmi málo. I když jsou koncentrace v podstatě lineární, byla zjištěna středně silná korelace mezi mediány SO₂ a intenzitou dopravy. Hodnota korelace je 0,58. Po provedení regresní analýzy je zjištěno, že doprava se podílí na celkovém množství koncentrací SO₂ z 20%, tj. 1,70 µg/m³.

9.3 Analýza závislosti koncentrací SO₂ na směru větru

Cílem této kapitoly je určit koncentrace SO₂ v závislosti na směru větru. Je zjištěno, jak velké množství koncentrací pochází ze směru větru z Polského a Českého území.

Tabulka 19 –Koncentrace SO₂ [µg/m³] vzhledem ke směru větru

Směr větru	Počet měření	Minimum	1. Kvartil	Medián	3. Kvartil	Maximum
S	896	1,30	4,78	9,00	17,50	121,70
SV	1004	1,30	5,99	10,25	21,13	112,00
V	95	1,60	5,40	8,50	17,00	158,00
JV	76	1,55	4,55	7,57	12,05	105,00
J	391	1,30	4,58	7,20	11,03	110,00
JZ	2948	0,66	5,10	8,42	14,00	144,70
Z	288	1,30	3,28	5,84	9,58	118,80
SZ	231	1,30	2,90	6,10	10,95	68,00



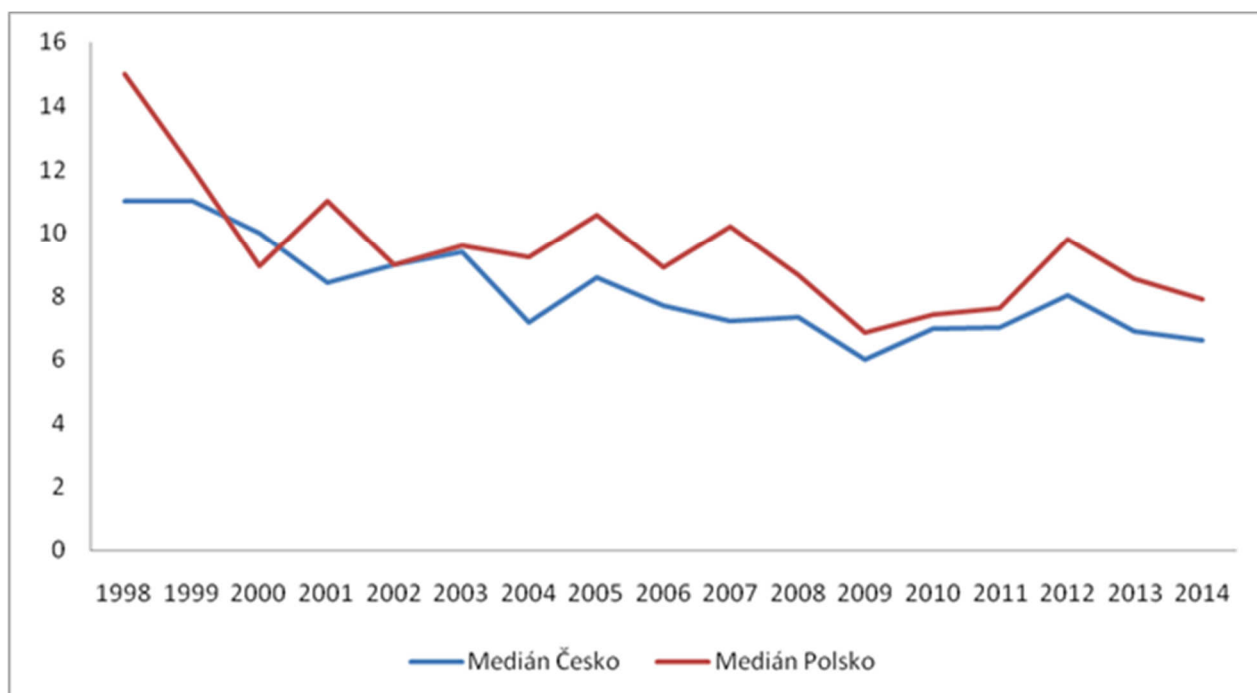
Obrázek 9- Závislost koncentrací SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na směru větru

Z obrázku 9 je viditelné, že nejvyšší množství imisí přichází ze severovýchodního směru (tabulka 19) z Polska. Z obrázku je dále viditelné, že z ostatních polských směru (V, S) je množství imisí vyšší než-li z Česka. Nejvyšší hodnota z české strany pochází z jihozápadního směru. Naopak nejnižší koncentrace je ze západního směru od Věřňovic.

Další typ analýzy, který byl provdén, je porovnání koncentrací medianů v závislosti na směru větru z území České republiky (JV, J, JZ, Z vítr) a Polska (SZ, S, SV, V vítr) v období od roku 1998 do roku 2014. Analýza je popsána v tabulce 20 a grafu 12.

Tabulka 20 – Mediány SO₂ [μg/m³] v závislosti na směru větru a roku měření

Rok	Medián Česko	Medián Polsko
1998	11,00	15,00
1999	11,00	12,00
2000	10,00	8,94
2001	8,40	11,00
2002	8,97	9,00
2003	9,40	9,60
2004	7,15	9,25
2005	8,60	10,55
2006	7,70	8,90
2007	7,20	10,2
2008	7,35	8,65
2009	6,00	6,85
2010	6,95	7,40
2011	7,00	7,60
2012	8,00	9,80
2013	6,90	8,55
2014	6,60	7,90



Graf 12 – Mediány koncentrací SO₂ [μg/m³] z Česka a Polska v období 1998-2014

Z provedené analýzy je viditelné, že od roku 1998 dochází k poklesu emisí jak v České republice, tak i v Polsku. Průběhy poklesů imisí jsou na obou územích velmi podobné. V Česku je pokles $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok a ze směrů z Polska činí pokles $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok. Z hodnot poklesů je viditelné, že na obou územích dochází ke stejně rychlému poklesu.

9.4 Diskuse analýz SO₂

Po provedení analýzy lze vyčíslit, že od roku 1998 dochází k neustálému, mírnému poklesu koncentrací SO₂. Jedná se o pokles $0,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok. K tomuto poklesu dochází z důvodů snižujícího se množství emisí na území České republiky a Polska. Trend poklesu byl přerušen pouze v roce 2003, kdy je viditelný mírný nárůst. Tento nárůst je způsobený špatnými rozptylovými podmínkami, které byly způsobeny silnou zimou.

Z analýzy zkoumající chod hodnot koncentrací SO₂ na měnících se dnech v týdnu je viditelné, že se koncentrace v průběhu týdne téměř nemění. Díky známým koncentracím a údajům o intenzitě dopravy, bylo možné určit, jak velký vliv má doprava na hodnoty koncentrací SO₂. Výsledek je ten, že automobilová doprava tvoří asi 20% imisí, to znamená, že se jedná o $1,70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ z celkového množství imisí.

Pro analýzu závislosti koncentrací SO₂ na směrovosti větru platí, že nejvyšší hodnoty koncentrací jsou z Polského směru, přesněji se jedná o SV směr větru. Z tohoto směru od obce Łaziska je medián SO₂ o $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vyšší nežli od jihozápadního směru, tj. od Ostravy. Nejnižších hodnot je stejně jako u NO₂ a PM₁₀ dosaženo od západního směru.

Analýza, jenž se zabývá sledováním dlouhodobého vývoje změny koncentrací SO₂ na směru větru ukázala, že emise klesají na české a polské straně podobným stylem. Rozdíly v rychlosti poklesu jsou jen velmi malé, v ČR je o $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok a v Polsku je o $0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

10 Závěr

Úkolem bakalářské práce bylo za použití základních statistických metod, zjistit závislost změny koncentrací znečišťujících látek (PM_{10} , NO_2 , SO_2) z hlediska časového období po letech a dnech v týdnu, ale také v závislosti na směru větru.

K analýze bylo využito dat z imisní monitorovací stanice Věřňovice od roku 1998 až do roku 2014. Tato stanice byla vybrána z toho důvodu, že zde dochází k překračování imisních limitů PM_{10} a zároveň je zde dosahováno nejvyšších koncentrací PM_{10} v České republice. Údaje o směru větru byly převzaty z meteorologické stanice v Mošnově.

Analýza koncentrací PM_{10} ukázala, že sledované období lze rozdělit na dva časové intervaly. Období 1998-2002 je charakteristické prudkým nárůstem koncentrací PM_{10} o $4,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok, což je pravděpodobně způsobeno nárůstem průmyslových emisí. Období od roku 2003 je charakteristické poklesem koncentrací PM_{10} o $0,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ za rok, které dobře odpovídá poklesu emisí TZL v Moravskoslezském kraji a Slezském vojvodství. Při zachování současného trendu poklesu emisí lze v budoucnu očekávat dodržování imisního limitu.

Analýza závislosti koncentrací PM_{10} na dni v týdnu umožnily odhadnout vliv dopravy na koncentrace PM_{10} , který činí 22%. Analýza závislosti koncentrací PM_{10} na směru větru, zjistila, že nejvyšších hodnot koncentrací PM_{10} je dosahováno při směru větru z Polského území. Hodnoty koncentrací PM_{10} jsou ve směru od blízkých polských sídel (SV) o $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ vyšší ze směru od ostravské aglomerace (JZ).

Analýza koncentrací NO_2 zjistila dominantní vliv automobilové dopravy na koncentrace NO_2 , který byl analýzou závislosti koncentrací NO_2 na dnech v týdnu určen na 51% celkových koncentrací. Analýza závislosti koncentrací NO_2 na směru větru určila jako dominantní směr znečištění od JZ, ve kterém se nachází nejbližší frekventovaná komunikace, silnice I/67.

Analýza dlouhodobého vývoje koncentrací SO_2 ukázala, postupný pokles, který probíhal celé sledované období. Z hlediska týdenního chodu bylo zjištěno, že hodnoty koncentrací se během týdne mění jen minimálně, což potvrzuje, že vliv automobilové dopravy na koncentrace SO_2 je malý. Analýza závislosti koncentrací SO_2 na směru větru ukazuje, že nejvyšších koncentrací je dosahováno při směrech větru z polského území. Vysoké hodnoty 3. kvartilu v těchto směrech ukazují na výrazný vliv znečištění z lokálních topenišť.

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] *Chemie ovzduší*[online]. [cit. 2016-3-04].
Dostupné z:http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-80-708-5714
- [2] Bartusek, Stanislav. *Ochrana životního prostředí*, 1. vyd. VŠB – Technická univerzita Ostrava. ISBN 978-80-248-2569-4
- [3] BLAŽEK, Zdeněk. *Vliv meteorologických podmínek na kvalitu ovzduší v přeshraniční oblasti Slezska a Moravy: Wpływ warunków meteorologicznych na jakość powietrza w obszarze przygranicznym Śląska i Moraw*. Vydání první. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2013, 181 stran. ISBN 83-611-0279-5
- [4] *Atmosféra a klima: aktuální otázky ochrany ovzduší*. Vyd. 1. Editor Martin Braniš, Iva Hůnová. V Praze: Karolinum, 2009, 351 s. ISBN 978-80-246-1598-1.
- [5] OBROUČKA, Karel. *Ochrana ovzduší I: (zdroje a látky znečišťující ovzduší)*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola podnikání, 2003. ISBN 80-86764-00-1.
- [6] *Ochrana ovzduší*[online]. [cit. 2016-03-19].
Dostupné z: <https://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/ovzdusi/viden.htm>
- [7] Solcomhouse, *Air pollution*, [online]. [cit. 20.3.2016]
Dostupné z:http://www.solcomhouse.com/images/Air_pollution_pathways_textbox.gif
- [8] Air Toxics analysis workbook. Research Triangle Park, NC: US EPA, 2009.
Dostupná na http://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/airtox/workbook/T-Workbook_Secs1-8.pdf
- [9] OBROUČKA, Karel. *Látky znečišťující ovzduší*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-248-0011-1.
- [10] *Ochrana ovzduší* [online]. [cit. 2016-02-31].
Dostupné z:http://knc.czu.cz/~vachm/ovzdusi/ovzd_text.pdf
- [11] *Atmosféra Země*. In: *Astronomia*[online]. [cit. 2013-12-08].
Dostupné z: <http://planety.astro.cz/zeme/1943-atmosfera-zeme>
- [12] Státní zdravotní ústav. *Základy meteorologie pro aplikaci při řešení problému rozptylu znečišťujících látek v ovzduší* [online]. [cit. 2013-12-08].
Dostupné

- z:http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/ovzdusi/konz_dny_a_seminare/2007/kurs_ovzdusi_1/5_keder_zaklady_meteorologie.pdf
- [13] PM₁₀. In: *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2016-1-12].
Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/85>
- [14] *Smog* [online]. [cit. 2016-4-01].
Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/katalog/publikace?uid=uid_isbn-80-7080571-4
- [15] *Air pollution* [online]. [cit. 2016-2-20].
Dostupné z: <https://www3.epa.gov/airtrends/2010/report/airpollution.pdf>
- [16] *Outdoor air pollution* [online]. [cit. 2016-2-20].
Dostupné z: http://www.who.int/ceh/capacity/Outdoor_air_pollution.pdf
- [17] Logaritmicko-normální rozhraní [online]. [cit. 2016-4-18].
Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~dom033/predmety/statistika/ucebni_text/8SNV.pdf
- [18] BRIŠ, Radim a Martina LITSCHMANNOVÁ. *Statistika II* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007, 1 CD-R [cit. 2014-04-30]. ISBN 978-80-248-1482-7.
- [19] Zákon o ochraně ovzduší. In: 86. 2002.
Dostupné z: <http://www.esipa.cz/sbirka/sbsrv.dll/sb?DR=SB&CP=2012s201>
- [20] SO₂. In: *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2016-3-20].
Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/80>
- [21] *Geoinformační technologie pro řízení kvality ovzduší*. 2003. Habilitační práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [22] Tabelární ročenka 2014. *Portál ČHMÚ* [online]. [cit. 2016-4-20].
Dostupné z:
http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/tab_roc/2014_enh/pdf/MaximaH RAP.pdf
- [23] Airquality guidelines - global update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. In: *World Health Organization* [online]. [cit. 2013-11-10].
Dostupné z: http://whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

- [24] Air Progres Czecho-Slovakia. *Informační brožura s výsledky projektu Air Progres Czecho-Slovakia*[online]. [cit. 2016-4-20]
Dostupné z: <http://apcs.vsb.cz/data/APCS-brozura.pdf>
- [25] JANČÍK, Petr. *Atlas ostravského ovzduší*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2013.
ISBN 978-80-248-3006-3.
- [26] *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích* [online]. [cit. 2016-4-12].
Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP189.pdf>
- [27] *Zákony pro lidi. Předpis č. 201/2012 Sb.: Zákon o ochraně ovzduší* [online].
[cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [28] *Spear the air. Health effects*[online].[cit. 2016-3-28].
Dostupné z: <http://www.sparetheair.com/health.cfm?page=healthoverall>
- [29] Ministerstvo životního prostředí. *Legislativa a metodické pokyny ochrany ovzduší*[online].[cit. 2016-5-15].
Dostupné z: http://www.mzp.cz/cz/legislativa_metodicke_pokyny_ovzdusi
- [30] Wojewodzki Inspektorat Ochrony Srodowiska w Katowicach[online].[cit. 2016-5-15].
Dostupné z: <http://www.katowice.pios.gov.pl/index.php?tekst=monitoring/i>
- [31] *Emisní bilance České republiky, In: ČHMÚ*[online].[cit. 2016-5-15].
Dostupné
z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/embil/14embil/index_CZ.html

12 Seznam obrázků

Obrázek 1– Teplotní gradient [27]	14
Obrázek 2 – Legislativav ochraně ovzduší [1]	17
Obrázek 3 – Poloha monitorovací stanice Věřňovice, mapový podklad: Google Maps	18
Obrázek 4– Imisní stanice Věřňovice.....	18
Obrázek 5 – Znečištění PM ₁₀ v roce 2010 [26]	19
Obrázek 6 – Histogram a empiricky určené lognormální rozdělení NO ₂ [μg/m ³] na imisním monitoringu Věřňovice	21
Obrázek 7– Závislost koncentrací PM ₁₀ [μg/m ³] na směru větru	27
Obrázek 8– Závislost koncentrací NO ₂ [μg/m ³] na směru větru	35
Obrázek 9– Závislost koncentrací SO ₂ [μg/m ³] na směru větru	43

13 Seznam grafů

Graf 1– Závislost koncentrací PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] roku měření.....	24
Graf 2– Trend mediánu koncentrací PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	24
Graf 3– Závislost koncentrací PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na dnech v týdnu.....	26
Graf 4– Mediány koncentrací PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] z Česka a Polska v období 1998-2014	29
Graf 5– Závislost koncentrací NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] roku měření.....	31
Graf 6– Trend mediánu koncentrací NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	32
Graf 7– Závislost koncentrací NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na dnech v týdnu.....	34
Graf 8– Mediány koncentrací NO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] z Česka a Polska v období 1998-2014	37
Graf 9–Závislost koncentrací SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na roku měření.....	40
Graf 10– Trend mediánu koncentrací SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	40
Graf 11–Závislost koncentrací SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] na dnech v týdnu.....	42
Graf 12 –Mediány koncentrací SO_2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] z Česka a Polska v období 1998-2014	45

14 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Členění znečišťujících látek podle chemického složení [5]	5
Tabulka 2 – Imisní limit PM ₁₀ [15]	9
Tabulka 3 – Nejhorší stanice z hlediska koncentrací PM ₁₀ v roce 2014 [25]	19
Tabulka 4 – Příspěvek skupin zdrojů k celkovým koncentracím PM ₁₀ [μg/m ³] [3]	19
Tabulka 5 – Příspěvek skupin zdrojů k celkovým koncentracím znečišťujících látek [25].....	20
Tabulka 6 – Hodnoty emisí (PM ₁₀ ,NO ₂ ,SO ₂) v ČR a PL v období 2000-2013 [30,31].....	20
Tabulka 7 – Intenzita dopravy v jednotlivých dnech a obdobích podle TP189 [26]	22
Tabulka 8 – Závislost koncentrací z hlediska TP 189 na chodu dopravy	22
Tabulka 9 – Koncentrace PM ₁₀ [μg/m ³] v závislosti na roku měření	23
Tabulka 10 – Koncentrace PM ₁₀ [μg/m ³] podle dnů v týdnu	26
Tabulka 11 – Koncentrace PM ₁₀ [μg/m ³] vzhledem ke směru větru	27
Tabulka 12 – Mediány PM ₁₀ [μg/m ³] v závislosti na směru větru a roku měření	28
Tabulka 13 – Koncentrace NO ₂ [μg/m ³] v závislosti na roku měření	31
Tabulka 14 –Koncentrace NO ₂ [μg/m ³] podle dnů v týdnu.....	33
Tabulka 15 – Koncentrace NO ₂ [μg/m ³] vzhledem ke směru větru	35
Tabulka 16 –Mediány NO ₂ [μg/m ³] v závislosti na směru větru a roku měření	36
Tabulka 17 – Koncentrace SO ₂ [μg/m ³] v závislosti na roku měření	39
Tabulka 18 – Koncentrace SO ₂ [μg/m ³] podle dnů v týdnu	42
Tabulka 19 –Koncentrace SO ₂ [μg/m ³] vzhledem ke směru větru	43
Tabulka 20 – Mediány SO ₂ [μg/m ³] v závislosti na směru větru a roku měření	45

15 Seznam použitých zkratk

PM₁₀ – frakce prachu o velikosti 10 µm

PM_{2,5} – frakce prachu o velikosti 2,5 µm

PM₁ – frakce prachu o velikosti 1 µm

SO₂ – oxid siřičitý

NO₂ – oxid dusičitý

NO_x – oxidy dusíku

ZL – znečišťující látky

TP189 – technický předpis 189

HNO₃ – kyselina dusičná

HNO₂ – kyselina dusitá

H₂SO₄ – kyselina sírová